

**BEWERTUNG INDIVIDUELLER VORAUSSETZUNGEN ZUR BEWÄLTIGUNG
WECHSELNDER ARBEITSANFORDERUNGEN ANHAND PSYCHOLOGISCHER
UND NEUROPHYSIOLOGISCHER PARAMETER**

*Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie der
humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam*

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Jana May

Gutachter

Prof. Dr. Annemarie Metz

Dr. Peter Ullsperger

Potsdam 2004

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben und ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Für die freundliche Unterstützung bei der Entwicklung, Vorbereitung und Realisierung der in der vorliegenden Arbeit dargestellten Überlegungen und Untersuchungen möchte ich mit bedanken bei:

Frau Prof. Dr. Metz und bei Herrn Dr. Ullsperger für die fachliche Betreuung und die wissenschaftlichen Möglichkeiten sowie für die Unterstützung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, BAuA Berlin, insbesondere im Labor der Gruppe 3.3,

Frau Dipl.-Psych. Susanne Norzinski, Frau Dipl.-Psych. Franzisca Pohl und Frau Dipl.-Psych. Sabine Schwarz für ihre Anregungen und Korrekturvorschläge,

Frau Dr. rer.nat. Gisa Junghanns, Frau Dipl.-Psych. Katharina Thiele, Frau Dipl.-Psych. Doreen Kunsch für die vielen Diskussionen über die hier dargestellten Inhalte,

sowie meiner Familie und insbesondere meinem Freund sowie den vielen anderen Freunden und Bekannten für Gespräche, Anregungen und ihre Nachsicht.

Eine solche Untersuchung ist nicht möglich, ohne die Menschen, die sich untersuchen lassen. Den Versuchspersonen an dieser Stelle einen herzlichen Dank.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Exekutive Kontrollfunktionen und ihre Beziehung zum Arbeitsgedächtnis	3
2.1	Mehrspeichermodell von Atkinson und Shiffrin	3
2.2	Drei-Komponenten-Modell von Baddeley und Hitch	4
2.3	Supervisory Attentional System (Norman und Shallice)	6
3	Aufgabenwechsel und exekutive Kontrollprozesse	7
3.1	Task-Switching Paradigmen	8
3.2	Experiment von Rogers und Monsell (1995)	9
3.3	Die Re-konfigurationshypothese	10
3.4	Task-Set-Inertia Hypothese	11
3.5	Weitere Befunde zum Einfluss von RCI und CSI	12
3.6	Rubinsteins Stufenmodell der exekutiven Kontrolle	13
3.6.1	Aufgabenprozesse	14
3.6.2	Exekutive Kontrollprozesse	14
3.7	Zum Einfluss von Vorbereitungseffekten und Vorwissen bei Aufgabenwechsel	16
3.8	Zusammenfassende Betrachtung vorliegender Befunde	18
4	Altersabhängige Änderungen	20
4.1	Alter und exekutive Kontrollfunktionen	20
4.2	Gedächtnis im Alter	22
4.3	Altersbedingte Veränderungen bei wechselnden Aufgabenanforderungen	23
5	Untersuchung kognitiver Prozesse anhand von Parametern der bioelektrischen Hirnaktivität	25
5.1	Messung und Analyse der ereigniskorrelierten Hirnpotentiale	26
5.2	P300	29
5.3	Contingent Negative Variation (CNV)	33

5.4	Befunde zu elektrophysiologischen Untersuchungen bei älteren Erwachsenen	36
6	Ableitung der Fragestellung	38
7	Methodik	43
7.1	Experimentelles Design	43
7.2	Unabhängige und abhängige Variablen	48
7.3	Untersuchungsablauf	49
7.4	Datenerfassung und Datenaufbereitung	51
7.4.1	Verhaltensdaten	51
7.4.1.1	Eigenzustandsskala nach Nitsch	51
7.4.1.2	Test d2 (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test) nach Brickenkamp	53
7.4.1.3	Working Memory Test	54
7.4.2	Leistungsdaten	55
7.4.3	Ableitung der bioelektrischen Hirnaktivität	55
7.5	Datenanalyse und -auswertung	57
7.5.1	Leistungsdaten	57
7.5.2	Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)	57
7.5.2.1	Auswertung der Daten für die P300	58
7.5.2.2	Auswertung der Daten für die CNV	59
8	Ergebnisdarstellung	60
8.1	Reaktionszeiten	60
8.1.1	Fehler	63
8.1.2	Missings	64
8.2	Ereigniskorrelierte Potentiale	64
8.2.1	Mittlere Amplituden im Zeitbereich von 300 – 700 ms	65
8.2.2	Vergleich der mittleren Amplituden über die drei Zeitbereiche	77
8.2.3	Durch den Aufgabenstimulus ausgelöste P300- Amplituden	85
8.2.4	Resultate der CNV-Amplituden	90
8.3	Auswertung der Verhaltensdaten	96
8.3.1	Working Memory und Test d2	96
8.3.2	EZ-Skala	97
9	Diskussion	100
9.1	Reaktionszeiten	101
9.1.1	Fehler und Missings	106

9.2	Ereigniskorrelierte Potentiale	107
9.2.1	Amplituden auf den Hinweisreiz	107
9.2.2	P300 auf den Stimulus	108
9.2.3	Contingent Negative Variation (CNV)	109
9.3	Alterseffekte	112
9.4	Verhaltensdaten	115
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	118
	Literaturverzeichnis	121
	Abbildungsverzeichnis	139
	Tabellenverzeichnis	142
	Abkürzungsverzeichnis	143
	Anhang	145

1 Einleitung

Als Autofahrer kennen Sie sicherlich folgende Situation: Die Ampel wird rot. Wir werden zum Halten aufgefordert. Dabei wird ein Aufgabenwechsel erforderlich. Rasches Handeln ist notwendig, wenn jemand vor uns scharf bremst. Dann muss so schnell wie möglich reagiert werden. Neue Handlungsschemata (anhalten) müssen aktiviert und motorische Reaktionen (Bremse treten) umgesetzt werden.

Viele der im Alltag von uns zu bewältigenden Aufgaben sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sich ständig ändern. Um sie angemessen bewältigen zu können, muss man sich schnell auf sie einstellen. Oftmals müssen schnelle Entscheidungen getroffen werden - auch und vor allem am Arbeitsplatz.

Ziel dieser Untersuchung war es mittels Verhaltensparametern, Parametern der bioelektrischen Hirnaktivität sowie ausgewählten psychischen Variablen individuelle Leistungsvoraussetzungen und Fähigkeiten in der Bewältigung wechselnder Arbeitsanforderungen und Zeitdruck in Abhängigkeit vom Alter zu objektivieren.

Dazu wurden zwei Themenbereiche miteinander verknüpft. Es handelt sich einerseits um die exekutiven Kontrollfunktionen, bekannt aus der kognitiven Psychologie. Diese werden in der vorliegenden Untersuchung durch das Aufgabenwechselparadigma operationalisiert. Andererseits werden in der Psychophysiologie die zentralnervöse Aktivität, genauer die Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) untersucht, die in dieser Arbeit durch die Präsentation von Reaktionszeitaufgaben ausgelöst werden. Die Psychophysiologie prüft die Beziehungen zwischen dem overten Verhalten und physiologischen Prozessen beim Individuum. Durch die Verbindung beider Themenkomplexe gelingt es das menschliche Verhalten durch physiologische Prozesse, die nicht direkt beobachtbar sind, zu erklären.

Das in der kognitiven Psychologie eingeführte Aufgabenwechselparadigma ist, wie bereits erwähnt, ein experimentelles Modell zur Untersuchung exekutiver Kontrollfunktionen, mit dem sich die psychologische Forschung in den letzten 10 Jahren verstärkt beschäftigt hat. Es kann unterschiedlich realisiert werden und unterliegt verschiedenen Einflussgrößen. In einem typischen Aufgabenwechselexperiment erhalten die Versuchspersonen die Instruktion zwischen zwei Aufgaben so schnell wie möglich hin und her zu wechseln. Dabei entstehen die sogenannten Switch-Kosten, die sich im Anstieg in den Reaktionszeiten in den Aufgabenwechselfurchgängen gegenüber den Wiederholungsdurchgängen widerspiegeln. An alltagsnahen Beispielen lässt, wie bereits erwähnt, sich die praktische Relevanz des Aufgabenwechsels belegen.

Weiterhin ist zu klären, ob die wiederholt zu beobachtenden längeren Reaktionszeiten bei Älteren eher durch eine generelle Verlangsamung oder durch eine selektive Verlangsamung exekutiver und Signalverarbeitungsprozesse bedingt sind.

Betrachtet man bei der Untersuchung dieser Prozesse nur die Reaktionszeiten, ist es nicht möglich Rückschlüsse zu ziehen, ob Stimulusverarbeitungsprozesse oder Prozesse der Reaktionsvorbereitung durch experimentelle Interventionen selbst bzw. durch individuelle Faktoren in ihrem zeitlichen Ablauf modifiziert werden. Die einzig mögliche Beobachtung ist die Verkürzung bzw. Verlängerung der Reaktionszeit.

In der vorliegenden Arbeit wird näher auf die Bedingungen eingegangen, die für den reibungslosen Ablauf der Handlungssteuerung notwendig sind: die Prozesse der exekutiven Kontrolle. Exekutive handlungssteuernde Funktionen ermöglichen über das informationsverarbeitende System die Umstellung von einer kognitiven Anforderung auf eine andere, wenn kurzfristig aufeinanderfolgend verschiedene Aufgaben zu bearbeiten sind. Anschließend wird auf die Effekte von Aufgabenwechseln fokussiert, die ein geeignetes Instrument zur Analyse dieser Steuerungsprozesse darstellen.

Die Aufklärung dieser Mechanismen dient nicht nur der Grundlagenforschung, sondern hat auch praktische Relevanz im Zusammenhang mit Fragen der Arbeitsbeanspruchung und der altersabhängigen Änderungen dieser Funktionen.

Um ein Verständnis kognitiver Verarbeitungsprozesse im Zusammenhang mit sogenannten exekutiven Funktionen des Zentralnervensystems zu erlangen, ist es aus diesem Grunde von Bedeutung zu lokalisieren, wo die Änderungen in den Reaktionszeiten im Zuge der Signalverarbeitung im engeren Sinne zustande kommen.

Zum besseren Verständnis werden die gängigen elektrophysiologischen Zugangswege in der kognitiven Psychophysik (EEG, ereigniskorrelierte Hirnpotentiale) beschrieben. Es wird detaillierter auf die P300 und die Contingent Negative Variation (CNV) eingegangen. Dabei werden die als wesentlich erachteten physiologischen und methodischen Grundlagen eingeführt.

Ebenso werden Befunde zu altersbedingten Beeinträchtigungen und zur Verlangsamung der Informationsverarbeitung dargestellt. Einen weiteren Schwerpunkt dieser Arbeit stellen die Alterseffekte im Hinblick auf den Aufgabenwechsel und den Zeitdruck sowie die ereigniskorrelierten Potentiale dar. Die Untersuchung bemüht sich ebenfalls um die Aufdeckung von Zusammenhängen hinsichtlich altersabhängiger Änderungen dieser Verarbeitung und deren mögliche Auswirkungen auf die Arbeitsbelastung.

2 Exekutive Kontrollfunktionen und ihre Beziehung zum Arbeitsgedächtnis

Die meisten Theorien zum Arbeitsgedächtnis (*Working Memory*) postulieren die Existenz eines *exekutiven Systems*, welches sich, so wird angenommen, im präfrontalen Kortex befindet und besonders in wechselnden und neuen Situationen unser Verhalten steuert. Dieses wurde beispielsweise als *zentrale Exekutive* von Baddeley (1986) oder *Supervisory Attentional System (SAS)* von Norman und Shallice (1986) beschrieben.

Im Folgenden werden diese, nach einer kurzen Betrachtung der Modelle von Atkinson und Shiffrin (1968) sowie Baddeley und Hitch (1974), als Grundlage der Theorien, näher erläutert.

2.1 Mehrspeichermodell von Atkinson und Shiffrin

In dem von Atkinson und Shiffrin (1968) beschriebenen modalen Gedächtnissystem kommt dem Kurzzeitspeicher entscheidende Bedeutung in Form von Kontrollprozessen zu. Es ist der wohl bemerkenswerteste Beitrag, in dem Evidenzen für eine Separierung von Kurz- und Langzeitspeicher in einem Modell integriert wurden.

Eingehende Informationen werden selektiert und enkodiert, der Zugriff auf das Langzeitgedächtnis und die Speicherung in diesem werden koordiniert. Den Autoren zufolge steigt mit der Dauer, mit der Informationen im Kurzzeitspeicher gehalten werden können, die Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese Informationen entweder in den Langzeitspeicher transferiert oder kopiert werden. Über das sogenannte *Rehearsal* (Memorieren) werden Informationen im Kurzzeitspeicher gehalten und der Transfer in den Langzeitspeicher ermöglicht.

Kritik am Mehrspeichermodell wurde zum einen an der grundsätzlichen Zweiteilung unseres Gedächtnissystems in ein primäres und sekundäres Gedächtnis, zum anderen an den auf diesen Erkenntnissen aufbauenden Konzeptionen, wie beispielsweise denen von Atkinson und Shiffrin (1968), auf Grund von Resultaten empirischer Untersuchungen erhoben (vgl. Crowder, 1982). Experimentelle Befunde von Baddeley und Hitch (1974) sprechen gegen die Theorie von Atkinson und Shiffrin. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde das Drei-Komponenten-Modell (Baddeley & Hitch, 1974) entwickelt.

2.2 Drei-Komponenten-Modell von Baddeley und Hitch

Der Kurzzeitspeicher im modalen Gedächtnismodell von Atkinson und Shiffrin (1968) war als *Working Memory* konzipiert worden, dem bei einer Vielzahl kognitiver Aufgaben primäre Bedeutung im Sinne eines zeitweiligen Haltens bzw. Steuerns von Informationen zuerkannt wurde. Davon ausgehend entwickelten Baddeley und Hitch (1974) bzw. Baddeley (1986, 1990) das Konzept, den einheitlichen Kurzzeitspeicher zugunsten eines aus verschiedenen Subkomponenten zusammengesetzten Kurzzeitgedächtnisses aufzugeben. Im Unterschied zu dem statischen Mehrspeichermodell (Atkinson & Shiffrin 1968) können hier in dynamischer Weise Informationen verwaltet und verarbeitet werden. Nach diesem Modell ist das Kurzzeitgedächtnis also nicht nur zur kurzzeitigen Speicherung und Verarbeitung von Informationen bzw. als temporäres und selektives "Fenster" des Langzeitspeichers zu verstehen, sondern bietet Raum für Prozesse wie z.B. Entscheidungen treffen und Problemlösen. Das Modell besteht aus zwei Subsystemen, dem visuell-räumlichen Notizblock sowie der phonologischen Schleife, und einer zentralen Exekutive. Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Form des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley (1986).

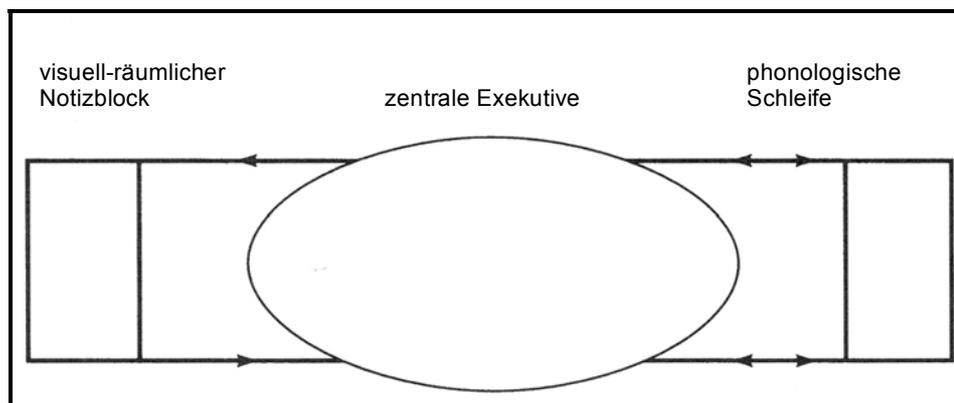


Abbildung 1: Modell des Arbeitsgedächtnisses (aus: Baddeley, 1986)

Die Konzeption der zentralen Executive ist an das SAS-Modell von Norman und Shallice (1986) angelehnt. Baddeley (1986) ordnet ihr zwei Funktionen zu: Einerseits ist sie ein System für alle Speicher- und Prozessfunktionen, die nicht von Subsystemen übernommen werden können, andererseits erfüllt die zentrale Exekutive die metakognitive Funktion eines *Supervisors*, der Prozesse in den Subsystemen auswählt, steuert und überwacht. Der *Supervisor* ist eine Aufmerksamkeitsressource mit begrenzter Kapazität, die immer dann gebraucht wird, wenn geläufige Prozessroutinen unterbrochen bzw. blockiert und/oder noch nicht gelernte Operationssequenzen ausgeführt werden müssen. Die Effektivität, mit der das System eine

bestimmte Aufgabe erfüllt, ist davon abhängig, ob zum gleichen Zeitpunkt andere Anforderungen an dieses System gestellt werden. Je größer die Konkurrenz um diese limitierten Ressourcen, desto geringer ist die Effektivität der zentralen Exekutive (Gathercol & Baddeley, 1993).

Die beiden Subsysteme dienen der Aufnahme, Speicherung und aktiven Reproduktion von Informationen. Dabei ist die phonologische Schleife (*Phonological Loop*) auf sprachliches Material, der visuell-räumliche Skizzenblock (*Visuo-Spatial Sketch Pad*) auf räumliche Information spezialisiert (Baddeley, 1986).

Die phonologische Schleife enthält zwei Komponenten, einen phonologischen Speicher (*Phonological Store*) sowie einen artikulatorischen Kontrollprozess (*Articulatory Control Process*), der auf der inneren Wiederholung durch Subvokalisation basiert. Der phonologische Speicher enthält Informationen, die phonologisch kodiert sind und nach einer bestimmten Zeit verfallen. Dieser Verfall der Informationen kann jedoch durch Memorieren (*Rehearsal*) vermieden werden und die Informationen so als Gedächtnisbestandteile bewahren. Der „Rehearsal-Vorgang“ dient ebenfalls dazu, non-artikulatorische Informationen zu rekodieren und sie in eine artikulatorische Form zu bringen, so dass sie Zugang in den phonologischen Kurzzeitspeicher erhalten können. Im Gegensatz dazu werden artikulatorische Informationen direkt in den Speicher gelenkt. Die Theorie der artikulatorischen Schleife wird durch Studien an Patienten mit neuropsychologischen Defiziten gestützt. Baddeley (1997) nimmt an, dass die Integrität dieses Subsystems das Erlernen phonologischen Materials ermöglicht (vgl. auch Calabrese, Holinka, Durwen, Markowitsch, Haupts & Gehlen, 1997).

Der visuell-räumliche Notizblock ist spezialisiert auf das Verarbeiten und Speichern von sowohl visuellen und räumlichen Informationen, als auch von verbalem Material, das im Nachhinein in visueller Form enkodiert wird. Dem visuell-räumlichen Gedächtnis kommt eine wichtige Funktion bei der Orientierung im Raum und beim Planen von räumlichen Aufgaben zu. Wie die artikulatorische Schleife kann auch der visuell-räumliche Notizblock direkt durch Wahrnehmungen oder indirekt durch die Generierung eines visuellen Bildes einer non-visuellen Information gespeist werden. Es ist davon auszugehen, dass diesem Subsystem beim Erlernen visuellen Materials eine wesentliche Rolle zukommt (Baddeley, 1990).

Ebenso wie die zentrale Exekutive haben beide Subsysteme eine begrenzte Kapazität, so dass die verschiedenen Informationen, die zu diesen Systemen gelangen, um die dort vorhandenen Verarbeitungsressourcen konkurrieren.

Auch nach den Annahmen des Drei-Komponenten-Modells werden Informationen kurzfristig gespeichert und verarbeitet. Allerdings ist nicht umfassend geklärt, wie sich die Speicher- und Prozessfunktionen auf die drei Komponenten aufteilen. Die

Subsysteme sind zweifellos spezialisierte Speicher, aber führen sie auch selbst alle elementaren Prozesse aus – oder nur solche, die der Reproduktion (*Rehearsal*) ihres Inhalts dienen? Unklar ist auch, inwieweit die zentrale Exekutive selbst primäre Speicher- und Prozessfunktionen übernimmt oder nur Metaprozesse zur Supervision ausführt. Untersuchungen mit dem "Dual Task"- Paradigma von Gilhooly, Logie, Wetherick und Wynn (1993) sowie von Toms, Morris und Ward (1993) sprechen dafür, dass die zentrale Exekutive eigene Speicher- und Prozessfunktionen erfüllt. Die Befunde deuten darauf hin, dass Aufgaben zum aussagenlogischen Schließen keines der beiden Subsysteme, sondern vor allem die zentrale Exekutive beanspruchen. Die zugrundeliegenden Repräsentationen können also nicht in einem der Subsysteme aktuell zwischengespeichert werden. Es muss ein weiteres Medium geben, in dem sie gehalten und verarbeitet werden. Mit dieser Interpretation wird die zentrale Exekutive zu einem *Central Computing Space*, der schon für sich genommen einem Standardmodell entspricht. Dieses Standardmodell würde demnach bei Baddeley lediglich durch zwei spezialisierte Subsysteme ergänzt.

2.3 Supervisory Attentional System (Norman und Shallice)

Die meisten Vorstellungen über die regulatorische Funktion der zentralen Exekutive basieren auf einem Modell, welches von Shallice (1984) entwickelt und von Norman und Shallice (1986) erweitert wurde.

Das *Attention-To-Action* Modell (Norman & Shallice, 1986) geht von Handlungsschemata im Langzeitspeicher aus, welche im Zusammenhang mit passenden Bedingungen aufgerufen werden. Gibt es mehrere konkurrierende Schemata, werden die nicht benötigten inhibiert. Genauer gesagt wird davon ausgegangen, dass Handlungen über zwei Wege kontrolliert werden. Zum einen werden erlernte bzw. automatisierte Handlungen anhand von Schemata ausgeführt, welche durch Umweltreize initialisiert werden. In diesen Situationen greift eine Art Konfliktprogramm (*Contention Scheduling*). Wenn aber Aufgabensets erscheinen, die neuartige Handlungen erforderlich machen, tritt das sogenannte *Supervisory Attentional System* (SAS) in Erscheinung, um diese neuen Handlungen zu kontrollieren. Bei einem Aufgabenwechsel müsste es diesem Modell zufolge zu einem ausgeprägten Konflikt zwischen den Schemata beider Aufgaben kommen. Dieser kann durch das Eingreifen des SAS gelöst werden.

Nach Norman und Shallice (1986) ist der präfrontale Kortex der Sitz des SAS. Folgende Situationen erfordern unter anderem eine Kontrolle durch das SAS:

- (a) Planen und Entscheidungen treffen,

- (b) Störungsbewältigung,
- (c) Situationen, die ungeübte oder neue Handlungen erfordern,
- (d) gefährliche oder technisch schwierige Situationen,
- (e) Überwindung starker Reaktionstendenzen.

Diese Kontrollprozesse oder auch *Supervisory Systems* genannt (Norman & Shallice, 1986; Shallice & Burgess 1993), initiieren eine Bewertung der konkurrierenden Informationen. Sie bringen sie in eine Rangreihe, verwerfen irrelevante Informationen und lösen nacheinander das Abarbeiten wichtiger Informationen aus. Dies setzt einen Abgleich mit den momentan aktuellen Handlungszielen des Systems voraus. Zusätzlich muss ein kontrollierendes System über zumindest begrenzte Speicher-möglichkeiten verfügen. Damit während des notwendigerweise seriellen Abarbeitens keine der gereihten Informationen verloren gehen, müssen sie zum Zeitpunkt des Auftretens der Konflikte komplett zwischengespeichert werden. Dieses sogenannte „Puffern“ dürfte eine der Funktionen des Arbeitsgedächtnisses sein (Baddeley, 1986, 1993). Baddeley (1997) wiederum bringt das SAS mit der zentralen Exekutive im Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (Baddeley, 1996) in Verbindung. Er zieht in Erwägung, dass das SAS der zentralen Exekutive entspricht (Baddeley, 1986). Es wird aber auch vermutet, die zentrale Exekutive sei nicht mit einem einzelnen System bzw. Modell wie dem SAS gleichzusetzen, sondern man müsse ihr auch weitere Funktionen zusprechen.

Allen Theorien ist gemeinsam: Exekutive Funktionen sind nötig, um ein mental spezifiziertes Ziel aufrechtzuerhalten und es trotz störender Alternativen durchzusetzen (Perner & Lang, 2000). Es wird angenommen, dass die zentrale Exekutive eine begrenzte Kapazität aufweist, die bisher schwierig zu messen ist. Die zentrale Exekutive ist modalitätsfrei und an zahlreichen Prozessoperationen beteiligt. Dennoch ist bisher wenig über die funktionale Organisation der komplexen psychologischen Prozesse bekannt, die dem präfrontalen Kortex zugeschrieben werden (Rogers, Sahakian, Hodges, Polkey, Kennard & Robbins, 1998).

3 Aufgabenwechsel und exekutive Kontrollprozesse

Andere Forscher haben die Idee eines einzelnen Kontrollsystems abgelehnt (Monsell, 1996; Monsell & Driver, 2000). Diese Theorien argumentieren eher für multiple, verteilte Kontrollebenen (*Levels of Control*) als für eine einzelne „alleinige“ Kontrolle

(Allport, 1993; Logan, 1985). Diese Forschungen und ihre Resultate halfen bei der Identifizierung und Differenzierung der verschiedenen Kontrollebenen.

Exekutive Kontrollprozesse sind Voraussetzung für die Durchführung von Aufgabenwechseln. Seit Jersild (1927) wurden in langer Tradition Reaktionszeiten zur Untersuchung des Aufgabenwechsels herangezogen. Eine Methode zur Messung der exekutiven Kontrollprozesse sind Experimente mit Aufgabenwechsel (*Task Switching Paradigmen*), die im Folgenden näher erläutert werden. Des Weiteren werden die Weiterentwicklungen der Theorien in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt.

3.1 Task-Switching Paradigmen

Es gibt mehrere Methoden den Aufgabenwechsel zu untersuchen. Jersild (1927) sowie Spector und Biederman (1976) haben die Bearbeitungsdauer der Blöcke, in denen die Versuchspersonen zwischen den Aufgaben wechseln mit Blöcken, in denen sie nur eine Aufgabe wiederholen sollten, verglichen. Im Aufgabenwechselfaradigma (*Alternating Runs Paradigm*, Rogers & Monsell, 1995), in dem die Aufgaben alle N Trials wechseln und N konstant sowie vorhersagbar ist, kann man die Aufgabenwechsel- und die Aufgabenwiederholungstrials innerhalb eines Blockes vergleichen. In den Wechselblöcken wird eine größere Arbeitsgedächtnisbelastung erforderlich, um die beiden Aufgaben in Bereitschaft zu halten. Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung lassen sich anhand der Reaktionszeiten erfassen.

Im *Task-Cueing Paradigma* (Sudevan & Taylor, 1987; Meiran, 1996) ist die Aufgabe für sich gesehen nicht vorhersagbar, aber ein Hinweisreiz erscheint entweder vor oder mit dem imperativen Stimulus und kündigt einen Aufgabenwechsel an. Nun ist es möglich das Cue-Stimulus Intervall (CSI) oder Vorbereitungsintervall (*Preparation Interval*), welches eine aktive Vorbereitung erlaubt, und das Response-Cue Intervall (RCI) unabhängig zu manipulieren. Im RCI kann das aktive Aufgabenset zerfallen. Bei einem kurzen Vorbereitungsintervall wird vermutet, dass der imperative Stimulus zu einer Zeit auftritt, in der die Vorbereitung für die festgelegte Aufgabe, z.B. die Auswahl und Implementierung des geeigneten Aufgabensets, noch abläuft. In diesem Fall ist eine langsame oder ungenaue Antwort zu erwarten, d.h. die Re-konfiguration des Aufgabensets muss erst beendet sein, bevor die Aufgabendurchführung stattfinden kann bzw. die Durchführung ist durch ein schwaches oder unvollständiges Aufgabenset erschwert.

3.2 Experiment von Rogers und Monsell (1995)

In den Experimenten wurde von den Versuchspersonen gefordert, zwischen zwei Aufgaben innerhalb eines Blockes in einer festgelegten vorhersagbaren Sequenz zu wechseln. Es musste zwischen einer Buchstabenklassifikationsaufgabe (Aufgabe A) und einer Zahlenklassifikationsaufgabe (Aufgabe B) gewechselt werden (AABB..., *Alternating Runs Paradigm*). Dabei wird zwischen Aufgabenwechselfurchgängen (Wechsel-Trials, $A \rightarrow B$ bzw. $B \rightarrow A$) und Aufgabenwiederholungsfurchgängen (Wiederholung-Trials, $A \rightarrow A$ bzw. $B \rightarrow B$) unterschieden. Dieses Schema wurde angewendet, da sowohl bei den reinen Blöcken der Experimente von Jersild (1927) als auch bei Spector und Biederman (1976) nur ein Aufgabenset im Gedächtnis gehalten werden muss. Für die Wechseltrials müssen die jeweils wechselnden Aufgabensets verfügbar sein. Bei dieser Variation bleibt unklar, ob verlängerte Reaktionszeiten in den Wechseltrials lediglich für eine erhöhte Gedächtnisbelastung und nicht für Kontrollprozesse sprechen (vgl. Jersild 1927). Im Schema AABBA... finden Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung innerhalb eines Blocks statt, d.h. beide Aufgabeninstruktionen müssen sowohl bei Wechsel als auch bei Wiederholung im Gedächtnis gehalten werden. Außerdem ist ein direkter Vergleich der Wechselkosten in den Aufgabenwechsel- und Aufgabenwiederholungsbedingungen möglich. Bei den sogenannten lokalen Wechselkosten werden die Leistungen bei der Aufgabenwiederholung (AABBA...) denen des Aufgabenwechsels (ABBAA...) gegenübergestellt. Die globalen Wechselkosten ergeben sich aus dem Vergleich zwischen „reinen“ (AAAAA...) und „gemischten“ (AABBA...) Blöcken. Wechselkosten werden durch die Subtraktion der Reaktionszeiten in den Wiederholungstrials von den Reaktionszeiten der Wechseltrials ($RT_{\text{switch cost}} = RT_{\text{switch}} - RT_{\text{no switch}}$) errechnet.

Zusätzlich wurde das Response-Stimulus-Intervall (RSI) variiert, um herauszufinden, ob es eine bestimmte Zeit gibt, in der der Aufgabenset Re-konfigurationsprozess in Antizipation eines vorhersagbaren Wechsels im Aufgabenset ausgelöst wird. Bei einem RSI von 150 ms kam es im ersten Experiment von Rogers und Monsell zu hohen Wechselkosten für die Reaktionszeiten und für die Fehler.

Die Wechselkosten reduzierten sich im Laufe der Experimente, ließen sich jedoch nicht vollständig eliminieren. Die Variation des RSI zwischen 150 und 1200 ms innerhalb eines Blocks hatte keinen Effekt im Sinne einer Verringerung der Wechselkosten (zweites Experiment von Rogers & Monsell, 1995). Eine signifikante Abnahme der Wechselkosten wurde nur mit einer Verlängerung des RSI über verschiedene Blöcke erreicht (Experiment 3 bei Rogers & Monsell, 1995). Diese Abhängigkeit der Vorbereitung in den Blöcken über das RSI wurde als Nachweis der Involvement in

einen strategischen Prozess gewertet. Im RSI zwischen 600 und 1200 ms kam es zu keinen Veränderungen. Auch bei längeren Vorbereitungszeiten sind noch Wechselkosten zu finden, die als residuale Wechselkosten bezeichnet werden. In den Experimenten von Rogers und Monsell (1995) wurde das Ausmaß der exekutiven Kontrolle anhand der Wechselkosten eingeschätzt.

3.3 Die Re-konfigurationshypothese

Aus den vorab beschriebenen experimentellen Resultaten stellten Rogers und Monsell (1995) die „Re-konfigurationshypothese“ auf, in der sie postulieren, dass sich die Re-konfiguration des Aufgabensets aus zwei Komponenten zusammensetzt. Die *antizipatorische Komponente* reflektiert vermutlich die Instanz eines endogenen oder „top down“ kontrollierten Prozesses, die eine Vorbereitung (vor dem Erscheinen des Stimulus) auf den Wechsel des Aufgabensets ermöglicht. Die Tatsache, dass auch bei sehr langen RSI und einem Hinweisreiz Wechselkosten auftreten, zeigt, dass dieser endogene Kontrollprozess das System nur teilweise für den Wechsel im Aufgabenset rekonfiguriert. Die Grundlage dieser antizipatorischen Komponente soll die zentrale Exekutive (Baddeley, 1986) bzw. das Supervisory Attentional System (SAS, Norman & Shallice, 1986) sein. Die *Stimulus getriggerte Komponente* wird exogen durch das Erscheinen des Stimulus hervorgerufen. Die Stimulus getriggerte Komponente der Aufgabenset Re-konfiguration drückt external angetriebene Prozesse aus, wie die Aktivierung der Stimulus-Response-Kontingenzen in Verbindung mit den jeweils aufgabenrelevanten Stimuli.

Die vollständige Re-konfiguration des Aufgabensets hängt von Prozessen ab, die nach dem Auftreten des Stimulus ausgelöst werden und sich in den residualen Wechselkosten widerspiegeln. Diese Hypothese geht also davon aus, dass die Aufgabenset Re-konfiguration unter der Kontrolle von internal und external gesteuerten Prozessen steht.

Eine ähnliche Differenzierung von Prozessen vor und nach Stimulusdarbietung wurde von Rubinstein, Meyer und Evans (2001) im Stufenmodell der exekutiven Kontrolle mit Zielverschiebung und Regelaktivierung getroffen, auf das später ausführlicher eingegangen wird.

Rogers und Monsell (1995) sehen ihre Ergebnisse als kompatibel mit dem Modell von Norman und Shallice (1986). Durch Umweltreize wird die Aktivierung eines Schemas (Aufgabensets) bewirkt, welches in internen Prozessen moduliert wird, die auch

sicherstellen, dass das passende Aufgabenset erfolgreich bleibt und so eine korrekte Handlung ausgeführt wird.

Auch andere Gruppen von Forschern, im Folgenden näher erläutert, akzeptieren die Existenz von zwei Komponenten der Aufgabenset Re-konfiguration.

3.4 Task-Set-Inertia Hypothese

Allport, Styles und Hsieh (1994) beschäftigten sich mit der Rolle der antizipatorischen, endogenen Prozesse, die am Prozess der Aufgabenset Re-konfiguration mitwirken. Sie führen an, dass Wechselkosten vollständig der proaktiven Interferenz vom zuvor aktiven (und nun nicht mehr relevanten) Aufgabenset auf das aktuell aktive Aufgabenset zugeschrieben werden können. Diesen Prozess nennen sie *Task-Set-Inertia* (Aufgaben-Set-Trägheit, TSI). Ein aktuelles Aufgabenset zerfällt mit der Zeit und kann die Bearbeitung der kommenden Aufgaben stören. Allport et al. gehen davon aus, dass proaktive Interferenz dadurch erzeugt wird, dass präsente Stimulus-Response-Mappings (SR-Mappings) vorheriger Aufgaben im Speicher überdauern und stärker sind, je ähnlicher die SR-Mappings der vorherigen und der aktuellen Aufgabe sind. Es wird angenommen, dass die SR-Mappings erst bei Auftreten eines neuen Stimulus in den Hintergrund treten. Die Autoren postulieren, dass diese TSI die Wechselkosten verursachen. Während die TSI-Hypothese nicht ausschließt, dass Wechselkosten die Güte in der exekutiven Kontrolle reflektieren können, so lehnt die TSI ab, dass die Reduktion der Wechselkosten die zunehmende Bereitschaft für die bevorstehende Aufgabe widerspiegelt (Allport & Wylie, 2000). Ihrer Meinung nach sind die Wechselkosten verursachenden Prozesse auf die vorhergehende und nicht auf die nachfolgende Aufgabe bezogen. Entsprechend der TSI indizieren Wechselkosten das Ausmaß der Interferenz mit der vorherigen Aufgabe. Je schwieriger die auszuführende Aufgabe ist, umso schwieriger ist der Wechsel zu einer anderen Aufgabe. Daraus resultieren größere Wechselkosten. Wie Rubinstein et al. (2001) kritisieren, sind die Daten von Allport et al. nicht eindeutig. Aufgrund von Resultaten in Untersuchungen mit Hinweisreizen traten keine proportionalen Verkürzungen der Wechselkosten in Abhängigkeit von den Vorbereitungsintervallen auf. Wegen dieser Ergebnisse nehmen die Autoren weiterhin an, dass die Wechselkosten eine Art Durchführungsbereitschaft (*Performance Readiness*) reflektieren können. Diese wird beeinflusst durch Faktoren wie positives und negatives Priming von früherer Aufgabenübung, Aktivierung des relevanten oder irrelevanten Stimulus mittels Hinweisreiz, Reaktions- und oder Aufgabenset-Eigenschaften und der Hemmung der inkongruenten Merkmale.

In neuropsychologischen Studien konnte gezeigt werden, dass zahlreiche Hirnregionen in medialen und lateralen Regionen des präfrontalen Kortex, der Parietallappen und in anderen subkortikalen Regionen beim Wechsel aktiver sind als bei Wiederholung. Diese Hirnregionen sind wahrscheinlich maßgeblich an den exekutiven Kontrollprozessen beteiligt. So beschreiben Meyer et al. (1998) und MacDonald, Cohen, Stenger und Carter (2000) eine höhere Aktivität des dorsolateralen präfrontalen Kortex links, wenn die Versuchspersonen sorgfältig wechselten. Es gibt klare Nachweise dafür, dass sich die Wechselkosten nach einer frontalen Schädigung erhöhen (Rubinstein, Evans & Meyer, 1994). Rogers et al. (1998) fanden erhöhte residuale Kosten bei Patienten mit fokalen links präfrontalen Läsionen. Aufgrund von Ergebnissen anhand der Positron-Emissions-Tomographie kamen Meyer et al. (1997) zu dem Schluss, dass der Aufgabenwechsel bei Patienten mit Frontallappenschädigung und Schädigung des dorsolateralen präfrontalen Kortex beeinträchtigt ist. Die Patienten zeigten Defizite, wenn sie Aufgabenwechsel durchführen sollten, was anhand erhöhter Wechselkosten nachgewiesen werden konnte.

3.5 Weitere Befunde zum Einfluss von RCI und CSI

Meiran, Chorev und Sapid (2000) untersuchten die Prozesse, die bei der Verringerung der Wechselkosten mit ansteigendem RSI durch ein manipuliertes Response-Cue Interval (RCI) und Cue-Stimulus Interval (CSI) bei konstantem RSI mitwirken. In getrennt durchgeführten Experimenten fanden sie heraus, dass der Anstieg von RCI bzw. CSI zu einer signifikanten Abnahme der Wechselkosten führt, jedoch mit verbleibenden signifikanten residualen Kosten. Meiran et al. argumentieren, dass mindestens drei Komponenten für den Aufgabenwechsel beschrieben werden können. Zusätzlich zum Stimulus getriggerten Prozess können zwei weitere Komponenten definiert werden. Speziell der RSI-Effekt auf die Wechselkosten besteht aus der vorbereitenden Re-konfigurationskomponente die einen aktiven Top-Down Prozess reflektiert, wie bereits von Rogers und Monsell (1995) vorgeschlagen (*Preparatory Component*), und einer Aufgabenset-Trägheits-Komponente (*Task-Set-Inertia*), die den passiven Zerfall der Aktivierung des vorherigen Aufgabensets widerspiegeln soll (*Dissipation Component*), wie Allport et al. (1994) postulieren. Während die Vorbereitungs-komponente den Anteil der Kosten beeinflusst, der bei zunehmendem CSI abnimmt, bezieht sich die Zerfallskomponente auf den Anteil der Wechselkosten, die sich bei ansteigendem RCI verringern.

Meiran et al. (2000) fanden nach einer vorherigen Übungssitzung eine Verringerung der Wechselkosten, aber keine Effekte auf die residualen Anteile der Wechselkosten.

In einer zweiten Übungssitzung wurden die residualen Wechselkosten ohne Effekt auf die Vorbereitungskosten reduziert. Darüber hinaus fanden sie, dass Übung keine Auswirkungen auf die Zerfallskomponente hat. Meiran (2000b) konnte ebenfalls zeigen, dass bei Verwendung gleichartiger und univalenter Stimuli in beiden Aufgabensets die vorbereitende Komponente für Wechselkosten nahezu eliminiert wurde.

Im Gegensatz dazu geht De Jong (2000) davon aus, dass ein einzelner Prozess der Re-konfiguration des Aufgabensets für die Effekte des Aufgabenwechsels in Betracht gezogen werden kann. Dem *Intention-Activation-Model* von De Jong (2000) zufolge ist die Re-konfiguration des Aufgabensets ein Alles-oder-Nichts-Prozess, der, abhängig von den Aufgabenparametern und individuellen Faktoren, entweder vor oder nach dem Stimulus Onset beendet ist. Abhängig von den Aufgabenparametern bereiten die Probanden die Aufgabenset Re-konfiguration bei einigen Trials im Voraus vor und bei anderen nicht. De Jong geht davon aus, dass Wechsel und Wiederholungs-Trials sich im Bedarf an Vorbereitung unterscheiden und die Vorbereitung in Wechsel-Trials manchmal fehlschlägt, was mit der Ansicht konsistent ist, unangemessene Vorbereitung sei eine Ursache für Wechselkosten. In den vorbereiteten Trials sind die Wechselkosten fast Null, in den nicht vorbereiteten Trials wird die Re-konfiguration nach dem Auftreten des Stimulus beendet. Daraus resultieren Wechselkosten. De Jong argumentiert, Mittelungen über diese beiden Arten von Trials führen zu einem Mittelwert der Wechselkosten, die keinen von beiden Trial-Typen genau reflektiert. Bei langen RSI beginnen die Probanden eher die Aufgabenset Re-konfiguration vor dem Auftreten des Stimulus, deshalb weisen sie geringe Wechselkosten auf. Bei kurzen RSI haben sie einen kleineren Teil der Trials vollständig vorbereitet. Dies führt zu größeren Wechselkosten (vgl. auch Nieuwenhuis & Monsell, 2002).

3.6 Rubinsteins Stufenmodell der exekutiven Kontrolle

Ein weiteres Modell zur Verdeutlichung der Prozesse, die an einem Aufgabenwechsel beteiligt sind, wurde von Rubinstein, Meyer und Evans (2001) vorgeschlagen. Rubinstein et al. unterscheiden für den Aufgabenwechsel zwei komplementäre Stufen, die *exekutiven Kontrollprozesse* und die *Aufgabenprozesse*, von denen sie annehmen, dass sie getrennt voneinander ablaufen. Sie sind in einem Stufenmodell der exekutiven Kontrolle vereinfachend dargestellt (siehe Abbildung 2).

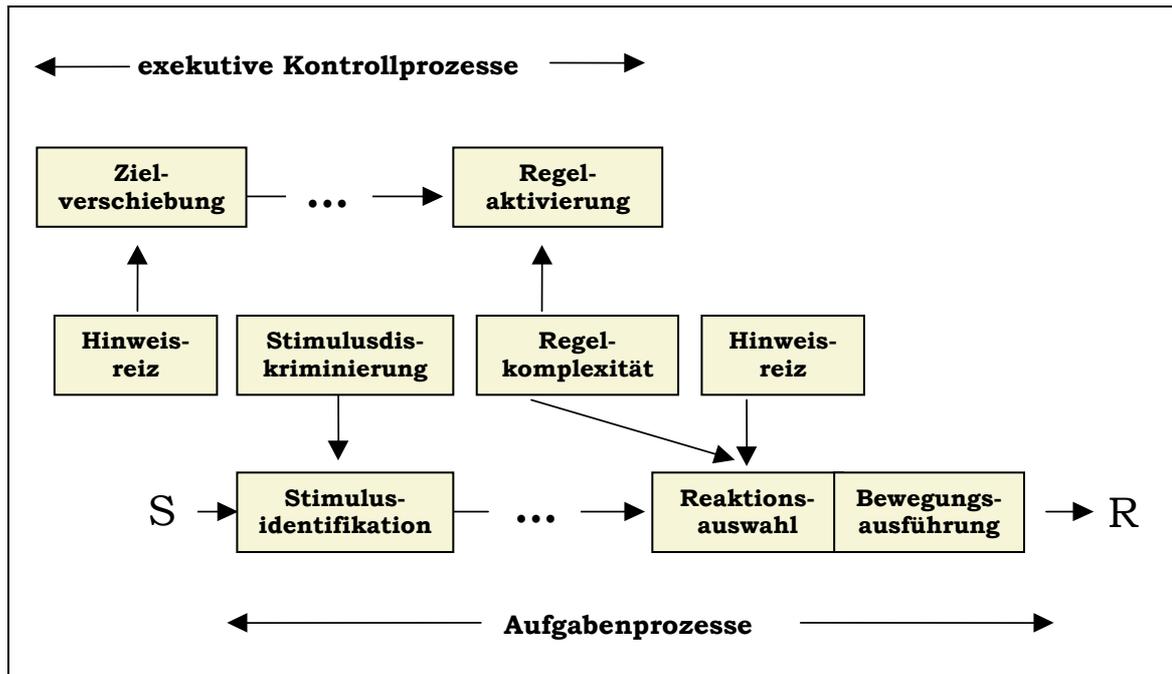


Abbildung 2: Stufenmodell der exekutiven Kontrolle, Rubinstein et al. (2001)

3.6.1 Aufgabenprozesse

Die Aufgabenprozesse werden für die Durchführung einfacher Reiz- Reaktionsaufgaben und komplexerer Aufgaben bei gleichbleibender und gemischter Aufgabendarbietung genutzt. Diese Prozesse beinhalten die Stufen *Stimulusidentifikation*, *Reaktionsauswahl* und *Bewegungsausführung*. Bei der Stimulusidentifikation werden die äußeren Stimulusmerkmale enkodiert und für das deklarative Gedächtnis bezüglich des Zugriffs in der Reaktionsauswahlstufe verfügbar gemacht. In der Stufe der Reaktionsauswahl wird der Stimuluscode, durch Algorithmen im prozeduralen Arbeitsgedächtnis, in einen Reaktionscode umgewandelt. Reaktionscodes werden in der Stufe der Bewegungsausführung in motorische Befehle transformiert, die zu overten Reaktionen führen.

Bei Aufgabenwiederholung beginnt die Reaktionsauswahl sofort nach der Stimulusidentifikation. Tritt ein Aufgabenwechsel auf, werden durch exekutive Kontrollprozesse die abweichenden Regeln aktiviert, wodurch eine Verzögerung zwischen Stimulusidentifikation und dem Beginn der Reaktionsauswahl auftreten kann.

3.6.2 Exekutive Kontrollprozesse

Die in dem Kontext des Modells betrachteten exekutiven Kontrollprozesse umfassen die Stufen *Zielverschiebung* und *Regelaktivierung*, welche die angemessene Konfi-

guration der Inhalte des deklarativen und prozeduralen Arbeitsgedächtnisses für die bevorstehende Aufgabe gewährleisten. Diese Beschreibung stimmt mit den Vorschlägen von Rogers und Monsell (1995) überein. Im Zuge der Zielverschiebung werden im deklarativen Gedächtnis aktuelle Ziele aktiviert und frühere Ziele inhibiert. Rubinstein et al. (2001) gehen davon aus, dass der Zeitpunkt, an dem Zielverschiebung stattfindet, relativ flexibel in Bezug auf die ablaufenden Aufgabenprozesse ist. Die Zielverschiebung kann bei langem RSI und vorheriger Information vor oder bei kurzem RSI und ohne Information nach der Stimulusidentifizierung der nächsten Aufgabe auftreten. Im ersten Fall ist Zielverschiebung mit den endogenen Kontrollprozessen von Rogers und Monsell (1995) vergleichbar, im zweiten Fall erscheint Zielverschiebung als exogen getriggertem Kontrollprozess.

Die Stufe der Regelaktivierung wird in Rubinsteins sequentielltem Modell erst nach Stimulusidentifikation (exogen) ausgelöst. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Regelaktivierung erst nach Beendigung der Zielverschiebung beginnt. In dieser Stufe werden zwei Funktionen bedient: die Aktivierung der Regeln für die Auswahl der aktuellen Aufgabenreaktion und, wenn erforderlich, die Unterdrückung der Regeln für die Auswahl der vorherigen Aufgabenreaktion. Danach kann die Reaktionsauswahl der aktuellen Aufgabe stattfinden.

Für die Regelaktivierung werden von Rubinstein et al. (2001) zwei Möglichkeiten vorgeschlagen: zum einen die Speicherung der Ausführungsregeln der folgenden Aufgabe im prozeduralen Arbeitsgedächtnis, in dem die Regeln ähnlich einem Computerprogramm neu geladen und überschrieben werden können. Auf diese Weise können unterschiedliche Aufgaben und die Komplexität der Aufgabenausführungsregeln Einfluss auf die Regelaktivierungsstufe haben. Die zweite Möglichkeit geht von der zeitweisen Aktivierung der jeweils aktuellen Ausführungsregeln im prozeduralen Langzeitgedächtnis aus.

Das Stufenmodell wird durch einige Annahmen von Rubinstein et al. (2001) ergänzt. Bei den einzelnen Stufen des Modells wird vereinfachend von einer sequentiellen Verarbeitung ausgegangen. Bei Aufgabenwiederholungen setzen sich die Reaktionszeiten aus der Dauer der einzelnen Stufen der Aufgabenprozesse zusammen. In dem Modell sind exekutive Kontrollprozesse nur am Aufgabenwechsel beteiligt und können zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten beitragen. Die Summe der Reaktionszeiten für Aufgabenwechseldurchgänge setzen sich demnach aus der Dauer von Zielverschiebung, Regelaktivierung und den Stufen der Wiederholungsdurchgänge zusammen. Die zeitliche Dauer einer oder mehrerer Stufen der Aufgabenprozesse

kann z.B. durch die Faktoren Stimulusidentifizierbarkeit, Regelkomplexität und durch Hinweisreize zusätzlich beeinflusst werden.

Anhand des Stufenmodells der exekutiven Kontrolle lassen sich nach Rubinstein et al. (2001) einige Befunde aus anderen Studien erklären. Unterschiede in den Wechselkosten können der Zielverschiebung und der Regelaktivierung zugeschrieben werden. Faktoren, welche die Zielverschiebung beeinflussen können, sind einerseits Hinweisreize und andererseits die Länge des RSI. Der Hinweisreiz gibt den Probanden schon früh die Möglichkeit, einen Aufgabenwechsel vorzubereiten, was die Zielverschiebung verkürzt.

Die Effekte der Regelaktivierung können z.B. Jersilds (1927) Befunde erklären, in denen Wechselkosten bei einem Wechsel zwischen komplexen Aufgaben größer sind als bei einem Wechsel zwischen einfachen Aufgaben. Für komplexe Aufgaben werden mehr Ausführungsregeln und zu deren Aktivierung gegebenenfalls mehr Zeit benötigt.

In verschiedenen Experimenten haben Rubinstein et al. (2001) einzelne Faktoren des Modells manipuliert, um die Modellvorstellungen zu untermauern. Es wurde beschrieben, dass die Stimulusdiskriminierbarkeit die Reaktionszeiten sowohl bei Aufgabenwechsel als auch bei Aufgabenwiederholung beeinflusst, aber keinen Effekt auf die Wechselkosten hat. Die Regelkomplexität nimmt Einfluss auf die Reaktionsauswahl und die Regelaktivierung. Hohe Komplexität der Regeln führt zu einem Anstieg der Wechselkosten.

Die Präsentation von Hinweisreizen beeinflusst die Zielverschiebungsstufe und führt zu schnelleren Reaktionszeiten mit weniger Fehlern bei Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung. Die Informationsmenge, die der Hinweisreiz für die nächste Aufgabe enthält, ist für die Dauer der Zielverschiebung relevant. Es wurde gezeigt, dass sich die Wechselkosten aus der Summe der Dauer der Zielverschiebung und der Regelaktivierung zusammensetzen. Die Resultate sprechen nach Rubinstein et al. für zwei separate Stufen der exekutiven Kontrollprozesse. Das Modell von Rubinstein et al. trennt die bei Aufgabenwechsel auftretenden Kontrollprozesse von den Aufgabenprozessen.

3.7 Zum Einfluss von Vorbereitungseffekten und Vorwissen bei Aufgabenwechsel

Im Zuge der Forschung zum Aufgabenwechsel wurden für die Wechselkosten Komponenten definiert. Diese Komponenten können mit der Vorbereitung durch einen Hinweisreiz (Cue) verdeutlicht werden. In einem Paradigma mit Hinweisreiz treten die Aufgaben randomisiert auf und der Hinweisreiz zeigt an, welche Aufgabe beim

folgenden Stimulus durchgeführt werden muss. Das Cueing Paradigma ermöglicht die Kontrolle über zwei Intervalle, die zwei theoretisch unterschiedliche Prozesse, das RCI und das CSI, abbilden. Die Vorbereitung auf die Aufgabe stellt einen optionalen, aktiven Prozess dar und nicht nur die Verringerung bzw. das Verschwinden der Interferenz vom vorhergehenden Aufgabenset.

Konsens besteht in der Annahme, dass der Vorbereitungseffekt ein endogen ausgelöster Kontrollprozess der Aufgabenset Re-konfiguration ist, der vor oder nach Stimuluspräsentation ausgeführt werden muss und zur Verlängerung der Reaktionszeiten beiträgt. Es gibt Studien, in denen die Gelegenheit zur Vorbereitung mit vollständigem (Sohn & Carlson, 1998) oder teilweisem Vorwissen (Dreisbach, Haider & Kluwe, 2002) der nächsten Aufgabe nicht zur Reduktion der Wechselkosten führt.

Um in einem Aufgabenwechsel-Experiment zu wissen, ob eine Aufgabenset Re-konfiguration notwendig ist, muss die Versuchsperson den externalen Hinweisreiz erkennen und interpretieren, Ziel und Regeln der nächsten Aufgabe vom Gedächtnis abrufen oder beides tun. Koch (2003) berichtet, dass bei vorhersehbarem Wechsel ein Vorbereitungsintervall nur dann die Wechselkosten reduziert, wenn es einen externalen Hinweisreiz gibt, der den Versuchspersonen hilft, sich zu erinnern, welche Aufgabe als nächstes zu bearbeiten ist. Die Interpretation des Hinweisreizes und die Aufgabenset Re-konfiguration haben Einfluss auf den Vorbereitungseffekt. Die Interpretation des Hinweisreizes im engeren Sinne kann sich auch als zusätzliche Aufgabe darstellen. Auf diese Weise können die Auswirkungen von Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung in den Hintergrund treten (Koch, 2003).

Sohn und Anderson (2001) nehmen in ihrem Zwei-Komponenten-Modell des Aufgabenwechsels als Ursache für Wechselkosten eine nicht ausreichende Vorbereitung auf die Wechselaufgaben oder einen sogenannten *Repetition Benefit* auf die Wiederholungsaufgaben an. Die residualen Wechselkosten beruhen nach deren Interpretation auf dem *Repetition Benefit*. In ihren Untersuchungen zeigte sich ein Vorbereitungseffekt (*Foreknowledge Benefit*), der mit steigendem Response-Stimulus Interval (RSI) größer wurde. Die Wechselkosten verringerten sich mit ansteigendem RSI und wurden geringer, je geübter die Probanden waren. Die Vorbereitung wird stärker von der Übung beeinflusst und hat bei gut geübten Probanden keinen Effekt mehr. Sohn und Anderson sehen in der Vorbereitung und der Wiederholung notwendige Bedingungen, um sich optional auf eine Aufgabe effizient vorzubereiten. Wie dies die Wechselkosten beeinflusst, hängt von der Übung ab.

3.8 Zusammenfassende Betrachtung vorliegender Befunde

Aufgabenwechsel sind im Allgemeinen mit Wechselkosten verbunden (Allport et al., 1994; Biederman, 1973; De Jong, 2000; Jersild, 1927; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein et al., 2001). Wechselkosten stellen einen Parameter zur Beschreibung von Aufgabenwechseln anhand der Verzögerung bei der Aufgabebearbeitung dar. Anfängliche Theorien neigten dazu, Wechselkosten mit nur einem Mechanismus zu erklären (z.B. Allport et al., 1994; Rogers & Monsell, 1995). Obwohl auch heute noch Modelle, die nur einen Faktor für den Aufgabenwechsel betrachten, in Erwägung gezogen werden (Altman & Gray, 2002), räumen die meisten Autoren multiple Ursachen ein, die zum Auftreten bzw. Fehlen von Wechselkosten führen können.

Die Annahmen für das Auftreten der residualen Wechselkosten lassen sich in drei Erklärungsgruppen einordnen. Die erste Gruppe von Erklärungen (Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein et al., 2001) schreibt die residualen Kosten unterschiedlichen Komponenten der Kontrollprozesse der Aufgabenset Re-konfiguration, vermutlich einem exekutiven Prozess im Sinne des *Action Monitoring* zu, bei dem nur einzelne Handlungsschritte auf Erfolg überprüft werden. Rubinstein et al. (2001) nehmen an, die Re-konfiguration setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, der Zielverschiebung und der Regelaktivierung. Die Zielverschiebung ist vermutlich bezogen auf die Aktualisierung des Inhalts des deklarativen Gedächtnisses, in welchem die Aufgabenanforderungen repräsentiert sind. Die Regelaktivierung bezieht sich auf die Aktivierung von Aspekten des prozeduralen Gedächtnisses in Bezug auf die Aufgabendurchführung.

Neben den endogenen Komponenten ist entsprechend Rogers und Monsell (1995) eine exogene Komponente möglich, deren Dauer für die residualen Kosten verantwortlich ist. Einigen Autoren zufolge spiegelt mindestens ein Teil der Aufgabenwechselkosten die Re-konfiguration der Verarbeitungsregeln vor der Aufgabendurchführung wider (De Jong, 2000; Meiran 1996; Rogers & Monsell, 1995).

In der zweiten Gruppe variieren entsprechend der *Task Set Inertia Theorie* von Allport et al. (1994) konkurrierende Aufgabensets in ihrem Grad der Aktivierung, der von einer zur nächsten Aufgabe bestehen bleibt. Die residualen Wechselkosten werden der Reaktionsauswahl bei Aufgabenwechseln zugeschrieben und sind infolge von Interferenz verlängert. Meiran und Gotler (2001) gehen davon aus, dass insbesondere die Verlängerung der Reaktionsauswahlstufe die residualen Wechselkosten bedingt. Allport et al. (1994) sowie Allport und Wylie (2000) schlagen vor, dass Wechselkosten eine Art proaktive Interferenz vom konkurrierenden Stimulus-Response-Mapping mit

den Stimuli, vom persistierenden Instruktionssatz des vorherigen Trials reflektieren (Task Set Inertia). Es ist möglich, dass sowohl die TSI als auch die nach dem Stimulus auftretenden Kontrollprozesse an den residualen Wechselkosten beteiligt sind (Monsell, Yeung & Azuma, 2000). Allport et al. (1994) schreiben die Reduktion der Wechselkosten durch Verlängerung des Response-Stimulus Intervalls (RSI) eher dem passiven Zerfall des Aufgabensatzes vom vorhergehenden Trial zu, als der Aktivierung des Aufgabensatzes für den folgenden Trial, was von der Position der Re-konfiguration impliziert wird. Ein Beispiel dafür ist ein Experiment in der Untersuchung von Allport et al. (1994). Wenn die Probanden im Voraus wussten, ob ein Aufgabenwechsel gefordert ist, konnten sie sich auf den Aufgabenwechsel während des RSI vorbereiten. Überraschenderweise war ein großer Anstieg im RSI mit einer relativ moderaten Verminderung der Aufgabenwechselkosten verbunden. Diese Abnahme stimmt nach Allport et al. (1994) mit einem begrenzten Zerfall der *Aufgaben-Set-Trägheit* über den Zeitverlauf überein. Problematisch an dieser Schlussfolgerung und an den Annahmen von Rogers und Monsell (1995) ist die Tatsache, dass das experimentelle Paradigma nicht eindeutig zwischen passivem Zerfall des vorhergehenden Aufgabensatzes und limitierter Vorbereitungs-Re-konfiguration differenziert.

Die dritte Gruppe von Erklärungen geht davon aus, dass Vorbereitung optional ist (De Jong, 2000; De Jong, Berendsen & Cools, 1999). Vorbereitung ist nützlich, da sie schnelle Antworten auf den imperativen Stimulus begünstigt. Eine aufgeschobene Aufgabensatz Re-konfiguration nach Auftreten des imperativen Stimulus reicht aber immer noch aus, eine genaue, wenn auch langsamere Reaktion zu gewährleisten. Nach dieser Annahme beruhen residuale Wechselkosten eher auf einem gelegentlichen Versäumnis bei der Aufgabenvorbereitung. De Jong (2001) bezeichnet dies als *Failure-to-Engage Hypothese* (FTE). Diese besagt, dass es bei Wechselaufgaben mit langem Vorbereitungsintervall zu einer wahrscheinlichkeitstheoretischen Mischung aus Aufgaben kommt, die einerseits von den Versuchspersonen im Voraus vorbereitet werden sowie aus Aufgaben, in denen die Vorbereitung im Vorbereitungsintervall nicht vorgenommen wird und erst nach dem Erscheinen des imperativen Stimulus erfolgt. Werden die Aufgaben innerhalb des RSI vorbereitet, ähneln sie in ihrer Bearbeitungsdauer den Wiederholungstrials. Wird die Vorbereitung nicht vorgenommen, ähneln die Trials in den Reaktionszeiten den Wechseltrials in kurzen RSI.

Die Aufgabensatz-Aktivierung oder -Inhibition ist demnach bedeutsam für die Wechselkosten, besonders für die residualen Wechselkosten. Eine Kombination beider Mechanismen ist durchaus möglich.

4 Altersabhängige Änderungen

Aufbauend auf den Untersuchungen zu exekutiven Kontrollfunktionen stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Alters auf diese Größe. Im Folgenden wird daher näher auf die exekutiven Kontrollfunktionen, die Gedächtnisveränderungen und Aufgabenwechsel mit zunehmendem Alter eingegangen.

4.1 Alter und exekutive Kontrollfunktionen

Es ist bekannt, dass sich im höheren Alter kognitive Funktionen verändern. Eine viel diskutierte Hypothese ist die *General Slowing Hypothesis* (Salthouse & Somberg, 1982). Sie geht von einer allgemeinen, unspezifischen Verlangsamung aller Informationsprozesse im Alter aus. Die Tatsache, dass es Altersunterschiede in Abhängigkeit von der Komplexität und Art der Aufgabe gibt, stellt allerdings die General Slowing Hypothesis in Frage (z.B. Cerella, 1990).

Craik und Salthouse (1992) nehmen dagegen spezifisch verlangsamte Reaktionsprozesse bei Entscheidungen oder Reaktionsausführungen als Ursachen an, so z.B. Probleme Älterer bei der Lösung räumlicher Aufgaben sowie Defizite bei Entscheidungs- und Wahlprozessen bei zwei oder mehr Antwortalternativen.

Ein anderer Bereich der Altersforschung beschäftigt sich mit der Untersuchung von neuroanatomischen, neurophysiologischen und neuropsychologischen Veränderungen. In der Altersforschung herrscht Einigkeit darüber, dass die Neuronendichte im präfrontalen Kortex mit zunehmendem Alter einem rascheren Abbau unterliegt als in anderen Hirnregionen. Azari et al. (1992) konnten mit Hilfe der Positron-Emissions-Tomographie (PET) nachweisen, dass die Reduktion der Hirnsubstanz im frontalen und präfrontalen Kortex rascher erfolgt als in den Regionen des sensorischen Kortex.

Die theoretischen Betrachtungen, die sich mit den Auswirkungen des normalen Alterns auf die exekutiven Kontrollfunktionen beschäftigen, werden derzeit von der Frontallappen-Hypothese beherrscht, die annimmt, dass wesentliche Aspekte der Abnahme der kognitiven Funktionen mit den altersabhängigen Veränderungen im Frontallappen verbunden sind (West, 1996). Die Veränderungen im präfrontalen Kortex scheinen größeren Einfluss auf den kognitiven Alterungsprozess zu haben als andere Hirnstrukturen (West, 1996). Die altersbezogene Abnahme der funktionalen Integrität des präfrontalen Kortex wurde in PET-Studien zur kognitiven Aktivierung (Cabeza, 2001) aufgedeckt, die ebenfalls über die Abnahme der frontalen grauen Masse bei Älteren, die Verminderung des zerebralen Blutflusses und über irreguläre Muster der

Blutversorgung berichteten. Li und Lindenberg (1999) argumentieren, die Veränderungen der kognitiven Fähigkeiten und die erhöhte Variabilität im höheren Alter resultieren aus einer altersbedingten Funktionseinschränkung des zentralnervösen katecholaminergen Systems.

Anhand von exekutiven Kontrollfunktionen können einige spezifische Vorhersagen darüber abgeleitet werden, welche Aspekte der kognitiven Funktionen am stärksten für das Altern anfällig sein sollten (West, 1996). West (2001) nimmt an, dass der altersbedingte erhöhte Aufwand in den exekutiven Kontrollprozessen, als Resultat einer Abnahme der Funktionsfähigkeit des präfrontalen Kortex, bei älteren Erwachsenen zu tendenziell höheren Reaktionszeiten (West, 1999) und erhöhter Variabilität in den Reaktionszeiten führt (West & Alain, 2000). Umiltà, Nicoletti, Simion, Tagliabue und Bagnara (1992) postulieren einen Zusammenhang zwischen der Koordination der Reaktion durch die zentrale Exekutive und der Leistung von älteren Personen. Sie nehmen an, dass sich die Anzahl zu koordinierender Verarbeitungsschritte erhöht, was auch zu höheren Reaktionszeiten führen kann. Als eine Ursache dafür sehen die Autoren die Abnahme der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses.

Es gibt behaviorale und neurophysiologische Befunde, die darauf hinweisen, dass die transiente Störung in einem bestimmten exekutiven Kontrollprozess nicht notwendigerweise mit der Störung anderer exekutiver Kontrollprozesse einhergeht.

Weiterhin nimmt West (2001) an, dass bei älteren Erwachsenen tendenziell eine Verringerung der Leistungen für exekutive Kontrollprozesse mit gleichzeitiger altersbedingter Verminderung in der für die Aufgaben erforderlichen selektiven Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und prospektiven Gedächtnis einhergehen.

Modulare Multifaktorenmodelle (MMM) werden durch anatomische und physiologische Belege untermauert, die besagen, dass verschiedene Regionen des Gehirns unterschiedlich schnell altersbedingte Änderungen aufweisen (Rabbitt, Lowe & Shilling, 2001). Diese Modelle sagen eher eine strukturelle Abnahme als eine gleichmäßige Verminderung derart vorher, dass mentale Fähigkeiten, belegt durch altersvulnerable Areale, sich schneller vermindern als solche, die von altersrobusten Arealen gestützt werden.

De Jong (2001) geht davon aus, dass altersbedingte Defizite der kognitiven Kontrolle einer verringerten Kapazität der Generierung und Aufrechterhaltung von Zielen im Arbeitsgedächtnis zugeschrieben werden können. Nach dieser Hypothese bedingt normales Altern eine reduzierte Kapazität für die endogene Zielauswahl und für die Aufrechterhaltung des Ziels.

In der kognitiven Gerontologie finden sich verschiedentliche Belege dafür, dass die Leistung mit dem Alter in vielen Situationen, die einen hohen Grad an exekutiver

Kontrolle fordern, abnimmt z.B. bei Aufgaben, die Daueraufmerksamkeit (Parasuraman & Giambra, 1991), selektive Aufmerksamkeit (Spieler, Balota & Faust, 1996) und exekutive Funktionen des Arbeitsgedächtnisses (West, Ergis, Winocur & Saint-Cyr, 1998) beanspruchen. Eine altersbedingte Verringerung exekutiver Kontrollfunktionen wurde bei der Bearbeitung von Dauerleistungsaufgaben (Bunce, Warr & Cochrane, 1993) und selektiven Aufmerksamkeitsaufgaben (West, 1999) beobachtet. Es wird berichtet, dass ältere Personen von irrelevanten Reizen stärker abgelenkt werden als Jüngere (z.B. Kausler & Hakami, 1982). Erklärt wird dies mit einer verminderten Hemmung für Ablenkreize (Distraktoren) und ablenkende Reizeigenschaften bei älteren Personen (Hasher & Zacks, 1988).

Insgesamt ist die Befundlage jedoch weiterhin unklar. So finden sich in einigen Studien Altersveränderungen im Redefluss (Sprachbeherrschung; z.B. Whelihan & Leshner, 1985), was andere Untersuchungen nicht bestätigen (z.B. Daigneault, Braun & Whitaker, 1992) konnten. Rabitt, Lowe und Shilling (2001) sehen die unterschiedlichen Resultate in methodischen Schwierigkeiten der Messung, Probleme der Aufgabenähnlichkeit, der Aufgabenspezifität, der Konstruktvalidität und dem oft vernachlässigten Problem der Stichprobenauswahl begründet.

4.2 Gedächtnis im Alter

Kognitive Leistungen im höheren Alter unterliegen einer hohen interindividuellen Variabilität, unter anderem in Folge von Bildung, Beruf, Gesundheit und Lebensstil (Schaie, 1988; Shimamura et al., 1995).

Ältere Menschen benötigen oft längere Darbietungszeiten, um Informationen adäquat aufzunehmen (Dunlosky & Salthouse, 1996; Salthouse, 1994; Salthouse & Coon, 1993). Dabei scheint das primäre Gedächtnis relativ unbeeinträchtigt zu sein, obwohl leichte Defizite in allen Komponenten des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley nachgewiesen werden konnten (Salthouse, 1994). Diese Defizite lassen sich nach Salthouse (1994) durch die bereits erwähnte generelle Verlangsamung der Informationsverarbeitung mit steigendem Alter erklären.

In verschiedenen Untersuchungen wurden immer wieder Hinweise auf eine Beeinträchtigung des sekundären Gedächtnisses gefunden, die hauptsächlich auf die gestörte Überführung von Informationen in den sekundären Gedächtnispeicher sowie auf gestörte Abrufprozesse zurückgeführt werden können (Dunlosky & Salthouse, 1996; Petersen, Smith, Kokmen, Ivnik & Tangalos, 1992). Es wird angenommen, dass es im höheren Alter zu keiner qualitativen Veränderung bezüglich der Lernprozesse, sondern eher zu einer allgemeinen Reduktion der Verarbeitungskapazität kommt.

Insgesamt kann von einer stärkeren Abnahme von sekundären Gedächtnisleistungen mit steigendem Alter ausgegangen werden. In erster Linie sind dabei die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Transfer von Informationen aus einem kurzfristigen in einen langfristigen Speicher und damit die Konsolidierung von Informationen, beeinträchtigt.

4.3 Altersbedingte Veränderungen bei wechselnden Aufgabenanforderungen

Die Forschung zeigt, dass die Fähigkeit zum Wechsel des Aufgabensets, ähnlich wie andere exekutive Kontrollfunktionen, mit der Funktion des präfrontalen Kortex in Zusammenhang steht (Shallice, 1994; Stuss, Shallice, Alexander & Picton, 1995). Die altersbedingte Abnahme kognitiver Funktionen ist zumindest teilweise mit Veränderungen im präfrontalen Kortex verbunden (z.B. West, 1996). DiGirolamo et al. (2001) konnten eine stärkere frontale Aktivierung älterer Erwachsener bei einem Aufgabenwechsel beobachten. Die Aktivierung bei den Jüngeren zeigte sich im medialen und dorsolateralen präfrontalen Kortex.

Die Resultate zahlreicher Aufgabenwechsel-Experimente (Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr & Liebscher, 2001; Meiran, Gotler & Perlman, 2001) zeigen, dass Ältere beim Aufgabenwechsel langsamer sind als Jüngere, aber auch, dass sie Hinweisreize ebenso wie die Jüngeren nutzen können. So konnten Meiran und Gotler (2001) nachweisen, dass Ältere zwischen 64 und 76 Jahren fast genauso effizient in der Vorbereitung auf einen Aufgabenwechsel sind wie jüngere Probanden. Eenshuistra, Wagenmakers und De Jong (1999) fanden, dass bei älteren Erwachsenen das Versäumnis der Vorbereitung (*Failure-to-Engage*) im Aufgabenwechsel nicht häufiger vorkommt als bei jüngeren Erwachsenen. Die Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass Ältere anders als Jüngere weniger in der Lage sind, ein Aufgabenset während des Vorbereitungsintervalls endogen vollständig zu rekonfigurieren. Dies scheint eine Limitierung in der Fähigkeit zum Aufgabenwechsel der Älteren darzustellen. Wird dagegen kein Hinweisreiz dargeboten, nimmt die Aufgabenunsicherheit der älteren Probanden zu (Kray, Li & Lindenberger, 2002).

Für diese Annahmen sprechen ebenfalls die Befunde von Kramer, Hahn und Gopher (1999). Die Autoren konnten eine starke Verbesserung dieser Limitierung durch längere Übung bei älteren Versuchspersonen zwischen 60 und 75 Jahren belegen.

Auch in einer Untersuchung von Van Asselen und Ridderinkhof (2000) traten bei den älteren Versuchspersonen nur dann schlechtere Leistungen auf, wenn der

Aufgabenwechsel nicht vorhersehbar war. Bei einem langen RSI oder vorhersehbarem Wechsel durch Präsentation eines Hinweisreizes verschwand der Leistungsunterschied zwischen jüngeren und älteren Probanden.

Einige Autoren fanden keine wesentlichen Altersunterschiede in den Wechselkosten (Kray & Lindenberger, 2000; Salthouse, Fristoe, McGuthrie & Hambrick, 1998). Altersunterschiede scheinen dann gering zu sein, wenn wenig Zeit zur Vorbereitung vorhanden ist (d.h. ein kleines CSI), ein Fall in dem Wechselkosten hauptsächlich den aktuellen dynamischen „Wechselprozess“ reflektieren. Stärkere Alterseffekte im Hinblick auf erhöhte Wechselkosten wurden bei langen Vorbereitungsintervallen entdeckt (De Jong, 2001; Meiran & Gotler, 2001), die im Sinne des Haltens der ehemals abgerufenen Handlungsvorschrift im Hinblick auf die *Stimulus-* und/oder *Responseambiguität* interpretiert werden können und zu einer längeren Dauer des Wechsels selbst führen. Das Fehlen der charakteristischen altersbedingten Unterschiede bei Aufgabenwechsel ist konsistent mit dem Vorschlag über die Art der lokalen Wechselkosten von Mayr und Kliegl (2000). Sie argumentieren, dass die Hauptkomponente der lokalen Wechselkosten aus der Dauer resultiere, die für den Langzeitgedächtnisabruf der bevorstehenden Aufgabenregeln benötigt wird. Mayr und Liebscher (2001) nehmen an, Älteren fällt es schwerer, klare Repräsentationen des gegenwärtig relevanten Sets aufrecht zu erhalten, wenn im gleichen Kontext konkurrierende Sets existieren. Die Schwierigkeit, klare Vorschläge darüber, was in einer bestimmten Situation zu tun ist, aufrecht zu erhalten, zwingt die Älteren demnach in einen Kontrollmodus, in dem häufigere und zeitraubende *Setup datings* auftreten. Die Jüngeren operieren mit einem Kontrollmodus, in dem die *Setup dating* Schritte auf die Zeitpunkte limitiert sind, in denen sie benötigt werden (z.B. wenn ein neuer Hinweisreiz erscheint). Mayr und Liebscher (2001) fanden Altersunterschiede in der Auswahl der mentalen Sets. Es scheint aber keine generellen Defizite zu geben, die alle Aufgabensetauswahlprozesse gleichermaßen beeinflussen. Der ständige Aufgabenwechsel zeigt in der Untersuchung von Mayr und Liebscher keine Alterseffekte bezüglich der lokalen Wechselkosten.

Meiran, Gotler und Perlman (2001) fanden heraus, dass die drei Subkomponenten (vorbereitende Komponente, Stimulus getriggerte Komponente sowie Zerfallskomponente) der Wechselkosten unterschiedlich vom Alter beeinflusst werden. Höheres Alter (in dieser Untersuchung im Mittel 70,3 Jahre) hat einen mäßigen Einfluss auf die Zerfallskomponente und einen starken Einfluss auf die residuale Komponente. Der Einfluss auf die vorbereitende Komponente während des RSI ist unerheblich.

Andere Ergebnisse zeigen keine Alterseffekte für die residualen Kosten (De Jong et al., 1999; Kramer, Gopher & Hahn, 1999; Kray & Lindenberger, 2000). Die Resultate konnten zeigen, dass Altersdifferenzen in der residualen Komponente mit Übung abnehmen. Mayr und Liebscher (2001) fanden dagegen im Vergleich zu Meiran et al. (2001) eine Tendenz in die entgegengesetzte Richtung.

Verhaeghen, Cerella, Bopp und Basak (in preparation) gehen davon aus, dass keine Altersdefizite bei Aufgaben auftreten, die das Loslösen der Aufmerksamkeit von einem Aspekt des Stimulus einbeziehen, um sie mit einem anderen Aspekt wieder zu verbinden (lokaler Aufgabenwechsel). Die Auswahlanforderung überhöht die zentrale Verarbeitung, aber der Grad der Überhöhung ist bei Älteren nicht größer als bei Jüngeren. Sie schlussfolgern daraus, dass es keine altersbezogenen Defizite im Prozess der selektiven Aufmerksamkeit gibt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es mit zunehmendem Alter zu spezifischen Veränderungen bei der Informationsverarbeitung, der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses kommt. Es wird auch deutlich, dass Faktoren wie z.B. die Vorbereitung und die Präsentation von Hinweisreizen Altersdefizite vermindern und teilweise sogar eliminieren können, da die Aufgabenunsicherheit (Kray, Li & Lindenberger, 2002) und die Unvorhersehbarkeit des Aufgabenwechsels (van Asselen & Ridderinkhof, 2000) wegfallen.

5 Untersuchung kognitiver Prozesse anhand von Parametern der bioelektrischen Hirnaktivität

Zur Beantwortung der Frage, ob eine Analyse bestimmter Reizeigenschaften von unbewusst bzw. bewusst verarbeiteten Reizen, von Teilprozessen und Mechanismen der Informationsverarbeitung in einem Reaktionszeitexperiment stattgefunden hat, bietet sich die Untersuchung ereigniskorrelierter Potentiale an. Im Gegensatz zu Verhaltensparametern, die erst als Folge einer bereits abgelaufenen Informationsverarbeitung erhoben werden können, bieten sie den Vorteil, zum aktuellen Reizverarbeitungszeitpunkt gemessen werden zu können und ermöglichen aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung eine Einschätzung der „Online-Reizverarbeitung“.

In der vorliegenden Arbeit werden neben Verhaltensparametern die ereigniskorrelierten Potentiale des Elektroenzephalogramms erhoben. Aus diesem Grund wird im Folgenden zunächst die Methode zur Erfassung ereigniskorrelierter Potentiale dargelegt. Anhand vielfältiger Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass

spezifische, trennbare Komponenten der ereigniskorrelierten Potentiale mit spezifischen kognitiven Prozessen in Zusammenhang gebracht werden können. In den beiden nachfolgenden Kapiteln wird auf die im Rahmen der vorliegenden Arbeit bedeutsamen ereigniskorrelierten Potentiale, die *Contingent Negative Variation* und die P300, näher eingegangen.

5.1 Messung und Analyse der ereigniskorrelierten Hirnpotentiale

Das Elektroenzephalogramm (EEG) stellt die schwachen elektrischen Spannungsunterschiede der Großhirnrinde dar, die mit Hilfe von Elektroden an der Schädeloberfläche ableitbar sind. Im EEG werden die Spontanaktivität und die ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) unterschieden. Die Spontanaktivität besteht aus Spannungsschwankungen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude. Die ereigniskorrelierten Potentiale reflektieren die hirnelektrische Aktivität, die wiederholbar und mit gleicher Charakteristik vor, während und nach zeitlich genau definierbaren Ereignissen als Spannungsschwankungen im Mikrovoltbereich messbar sind (Rösler, 1982). Während dieser Zeit ist die Verarbeitung des Stimulus im ereigniskorrelierten Potential beobachtbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass die ereigniskorrelierten Potentiale die summierte, synchrone elektrische Aktivität kortikaler und zu einem geringeren Anteil auch subkortikaler (thalamischer) Zellen widerspiegeln (siehe Coles & Rugg, 1995; zur genaueren Analyse der wahrscheinlichen Generatoren der ereigniskorrelierten Potentiale siehe beispielsweise Scherg & Picton, 1991; Wood, 1987).

Die Spannungsveränderungen im EEG, die innerhalb dieses Zeitabschnitts auftreten können, sind spezifisch für die Reaktion des Gehirns auf diesen Reiz. Solche Spannungsveränderungen auf Reize sind die Grundlage des ereigniskorrelierten Potentials (EKP). Ereigniskorrelierte Potentiale lassen sich durch eine Mittelungsprozedur (*Averaging*) aus dem Spontan-EEG extrahieren, indem zeitlich definierte Epochen beispielsweise vor oder nach der Darbietung eines Reizes aus dem Spontan-EEG entnommen und gemittelt werden. Die nach der Mittelung in einem Spannungs-Zeit-Diagramm aufgetragenen Kurvenverläufe sind um die zu jedem Zeitpunkt im EEG auftretende „Spontanaktivität“ bereinigt und spiegeln die elektrische Aktivität wider, die in Zusammenhang mit der Reizpräsentation steht (EKP). Innerhalb dieser entstandenen zeitlichen Spannungsänderungen können verschiedene Komponenten definiert werden, die sich in ihrer Latenz zu dem auslösenden Reiz, in ihren Potentialausrichtungen (positiv oder negativ), in ihrer Amplitudenausprägung (absolut und relativ bezogen auf eine Grundlinie) und aufgrund ihrer Topographie (dem Ableitort

ihrer maximalen Ausprägungsstärke) differenzieren lassen. In einer groben Charakterisierung werden den frühen exogenen Komponenten (Näätänen, 1987) die späteren endogenen Komponenten gegenübergestellt (siehe z.B. Rösler & Heil, 1998; Donchin, Ritter & McCallum, 1978). Die frühen exogenen Komponenten sind an die physikalische Reizdarbietung gekoppelt, treten unabhängig vom Zustand des Organismus auf und stellen eine obligatorische Antwort auf eine konkrete Reizsituation dar. Die Einteilung erfolgt unter anderem danach, ob eine Komponente vor oder nach einem Ereignis auftritt (vgl. Coles & Rugg, 1995). Das Auftreten einer Komponente wird somit in Abhängigkeit zu einem externen Kriterium gebracht, wobei ein Kriterium der Zeitpunkt und die Information, die vermittelt wird, ist, zu dem ein bestimmter Reiz dargeboten wird oder eine Verhaltensreaktion erfolgt. Die frühen exogenen Potentialanteile reflektieren die Funktionen peripherer sensorischer Organe und subkortikaler Zentren im Hirnstamm und in thalamischen Strukturen. Die späten, endogenen Komponenten werden in ihren Charakteristiken (Amplitude, Latenz, Verteilung auf der Kopfhaut) durch psychologisch definierbare Variablen wie beispielsweise Zuwendung der Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung, Erwartung von der veränderbaren, subjektiven Bedeutsamkeit oder auch Intention und weniger durch die physikalischen Reizbesonderheiten determiniert (Ullsperger & Gille, 1985). Deshalb kommt den endogenen Anteilen in der Analyse kognitiver Prozesse (verarbeitungsbezogen) eine besondere Bedeutung zu.

Eine Interpretation der Verschiedenartigkeit ereigniskorrelierter Potentiale kann anhand der oben genannten Dimensionen erfolgen. Soll beispielsweise eine Aufklärung über zeitliche Verarbeitungsprozesse erfolgen, so wird eine Latenzanalyse der Komponenten vorgenommen.

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass sich ereigniskorrelierte Potentiale in ihren relativen Amplituden sowie in ihrem Verteilungsmuster über den Skalp, den Variationen im Grad oder der Intensität der Bindung von allgemeinen kognitiven Prozessen oder Sets von Prozessen voneinander unterscheiden. Diese Annahme basiert auf der Vermutung, dass eine experimentelle Manipulation eher einen qualitativen als eine quantitativen Einfluss auf die kognitive Verarbeitung hat. Unterschiedliche EKP-Verteilungen über den Skalp bieten eine notwendige aber nicht hinreichende Bedingung für den Schluss, dass funktional eindeutige Prozesse identifiziert wurden. Ein Grund dafür ist die Unklarheit darüber, wie unterschiedlich zwei Verteilungen sein müssen bevor man sagen kann, sie reflektieren unterschiedliche funktionale Zustände. Die Wahrscheinlichkeit Differenzen in der Verteilung über den Skalp zu finden steigt mit der Anzahl der Elektroden die untersucht werden.

Ereigniskorrelierte Potentiale sind ebenso sensitiv für den Inhalt der kognitiven Operation wie für seine Bedeutung. Mehrdeutigkeiten entstehen in der Interpretation der Differenzen in der Skalp-Verteilung, wenn das kritische auslösende Item nicht über die experimentellen Bedingungen ausgeglichen werden kann und wenn es Gründe gibt, anzunehmen, dass sich die neuronale Repräsentation der unterschiedlichen Itemklassen anatomisch unterscheiden.

Die ereigniskorrelierten Potentiale stellen nur Informationen über einen Bruchteil der neuronalen Aktivität bereit, die mit der Verarbeitung des Stimulus verbunden ist. Nach Coles und Rugg (1995) ist die sogenannte EKP-Signatur jedes mutmaßlichen kognitiven Prozesses weit vom Äquivalent ihrer neuronalen Signatur entfernt.

Versuche die Wechselwirkung zwischen neuronaler Aktivität und kognitiven Prozessen zu finden sind mit dem Problem konfrontiert, dass funktionale Prozesse oder Informationsverarbeitung bei der Durchführung einer Teilaufgabe zu verschiedenen Formen führen können.

Die Hauptschwierigkeit im Beurteilen der funktionalen Signifikanz der EKP-Daten liegt in der korrelativen Eigenschaft der Arten der durchgeführten Studien. Eine ausreichend große Anzahl von Experimenten erlaubt die Schlussfolgerung, dass Amplitudenwechsel der EKP-Komponenten mit den Variationen im Grad, in dem ein mutmaßlicher kognitiver Prozess aktiv ist, verbunden sind. Es ist schwer zu erkennen, ob solch eine Beziehung, wie fest auch immer, die Schlussfolgerung erlaubt, neuronale Prozesse seien für die Generierung der Komponente verantwortlich.

Es ist notwendig, korrelative Erklärungen über ereigniskorrelierte Potentiale und kognitive Prozesse direkt auf die Existenz von kausalen Beziehungen zwischen der physiologischen Aktivität und dem kognitiven Prozess, mit dem es in Zusammenhang steht, zu beziehen. Solche Experimente setzen voraus, dass die neuronalen Systeme für einen speziellen manipulierten EKP-Effekt verantwortlich sind und die funktionalen Konsequenzen von dieser Manipulationen beobachtet werden.

Wichtige Informationen kommen von Studien, die Effekte von Hirnläsionen untersuchen. Sie sind besonders bedeutsam, da sie sowohl Informationen über die Rolle der verschiedenen Hirnregionen in der Modulation und der Generation der ereigniskorrelierten Potentiale bereitstellen als auch spezifische Hypothesen über die Beziehung zwischen EKP-Effekten und kognitiven Prozessen testen (Rugg, 1992).

Abschließend kann festgestellt werden, dass es nicht möglich ist ein vollständiges Verständnis der funktionalen Signifikanz der ereigniskorrelierten Potentiale zu haben, bevor die neuronalen Strukturen und Prozesse, die für ihre Generierung verantwortlich sind, identifiziert sind. Erst dann ist es möglich die funktionalen Konsequenzen des

Wechsels in der neuronalen Aktivität, die in einer gegebenen EKP-Wellenform reflektiert sind, zu beurteilen (Coles & Rugg, 1995). Es würde ebenfalls erlauben, die EKP-Forschung mit der großen Datenbasis über die neuronale Basis der Kognition zu integrieren.

Der Nachweis der funktionalen Signifikanz der ereigniskorrelierten Potentiale erfordert die Identifikation ihrer kognitiven Korrelate und ihrer neuronalen Ursprünge. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Beschränkung der Analyse auf die Amplitudenvariation der ereigniskorrelierten Potentiale in Abhängigkeit von den experimentellen Bedingungen. Im nächsten Kapitel wird auf die beiden im Kontext der vorliegenden Arbeit bedeutsamen Potentiale eingegangen.

5.2 P300

Die P300 ist eine endogene Komponente der ereigniskorrelierten Potentiale, die zum ersten Mal von Sutton, Braren, Zubin und John (1965) beschrieben wurde. Charakteristisch für sie ist eine positive Spannungsverschiebung mit einem Maximum an zentralen und parietalen Ableitorten. Die Bestimmung der Gipfellatenz der P300 erfolgt meist zwischen 300 und 800 ms (siehe Abbildung 3). Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass diese Komponente sich aus einer Reihe sich überlagernder Komponenten zusammensetzt (Rösler, 1982). Die P300 stellt aufgrund ihrer Größe (5-20 μV) eine sehr charakteristische Komponente dar.

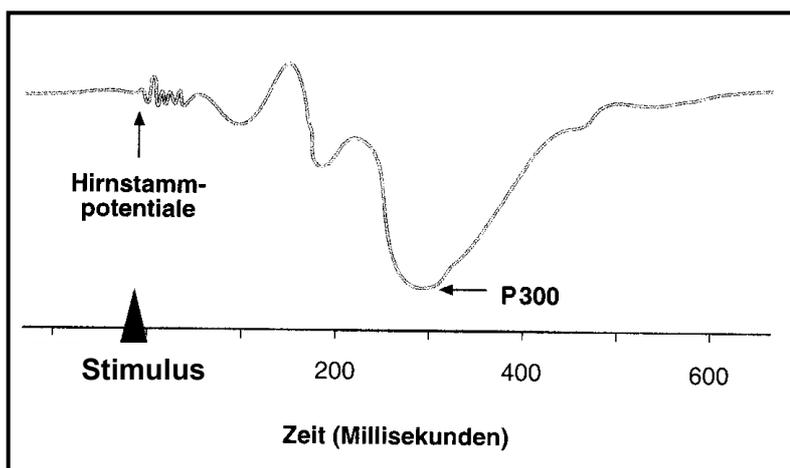


Abbildung 3: Darstellung der P300 Wellenform

Sutton et al. (1965) fanden einen Amplitudenunterschied der ereigniskorrelierten Potentiale in Abhängigkeit von der Sicherheit, mit der die Reizpräsentation eingeschätzt werden konnte. Es zeigten sich unterschiedliche Amplituden der ereignis-

korrelierten Potentiale im Zeitbereich von 300 Millisekunden nach der Darbietung des Reizes abhängig von dessen Vorhersehbarkeit. Unvorhersehbare Reize riefen eine positivere Amplitude hervor als vorhersehbare Reize. Sutton, Tueting, Zubin und John (1967) stellten in einer weiteren Studie fest, dass das Nicht-Auftreten eines Reizes, wenn es informativ ist und beispielsweise eine Entscheidung über einen einzelnen oder einen doppelten Reiz ermöglicht, ebenfalls eine P300 evozieren kann.

In vielfältigen Studien wurde die Beeinflussbarkeit ihrer Amplitude durch verschiedenste experimentelle Manipulationen deutlich (für eine umfassende Darstellung siehe Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988; Johnson, 1986; Pritchard, 1981 oder Coles, Smid, Scheffers & Otten, 1995). Trotzdem hält die Debatte über die ihr zugrundeliegenden Mechanismen weiter an. Nachdem diese experimentellen Resultate berichtet wurden, wird anschließend eine Einschätzung der der P300 zugrundeliegenden Prozesse vorgenommen.

Mit Hilfe von zwei Stimulus-Diskriminationsaufgaben (Oddball-Paradigma), in dem einige Reize seltener, andere häufiger dargeboten werden, konnten eine Reihe von Autoren (z.B. Squires, Donchin, Hering & McCarthy, 1977; Friedman, Hakerem, Sutton & Fleiss, 1973; Duncan-Johnson und Donchin, 1977) nachweisen, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Reizes einen wesentlichen Einfluss auf die Amplitude der P300 ausübt. Es zeigte sich, dass auf die selteneren Reize eine stärkere P300 auftritt. Johnson und Donchin (1980) fanden eine stärkere Positivierung der P300 in Abhängigkeit von der Aufgabenrelevanz des Reizes. Die Amplitude der P300 ist stärker auf Targets als auf Non-Targets ausgeprägt (Duncan-Johnson & Donchin, 1977; Smith, Donchin, Cohen & Starr, 1970; Squires et al., 1977). Ebenfalls zu beobachten ist eine stärkere P300 Amplitude auf stärker belohnte Reize als auf schwächer belohnte (Hömberg, Grünewald & Grünewald-Zuberbier, 1980; Begleiter, Porjesz, Chou & Aunon, 1983).

Ullsperger (1989) postuliert aufgrund seiner experimentellen Untersuchungen unter Bezugnahme auf die Adaptationsniveau-Theorie, dass sich in der P300-Amplitude die mentale Distanz zwischen dem Adaptionsniveau des Organismus und einem gerade verarbeiteten aufgabenrelevanten Stimulus widerspiegelt. Nach Rösler (1982) kovariiert die P300 mit dem Umfang von kontrollierten Verarbeitungsprozessen. Die Verringerung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses führt ebenso wie der Zuwachs an Reizkomplexität, im Sinn der Verarbeitung aufgabenrelevanter Reizmerkmale zu einem Anstieg in der P300 Latenz und in den Amplituden (Johnson, 1986). Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass die Latenz der P300-Komponente die Dauer sogenannter Reizbewertungs- oder auch Reiz-

kategorisierungsprozesse widerspiegelt (Donchin, 1981; Donchin, Ritter & McCallum, 1978; Johnson, 1986).

Die dargestellten Ergebnisse machen die Ausprägungsstärke der P300-Amplitude in Abhängigkeit von der Auftretenssicherheit eines Reizes, der subjektiven Wahrscheinlichkeit, d.h. Erwartung der Reize bzw. Reizkategorien und der Bedeutung der Reize im Aufgabenkontext deutlich. Da erst nach der Reizverarbeitung und einer Bedeutungsanalyse der Reize eine derartige Sensitivität auftreten kann, wurde vermutet, dass die P300 die Beendigung der Reizverarbeitung (*Stimulus Evaluation Time*) widerspiegelt. Diese Überlegungen werden durch die Befunde der Latenz der P300 vom auslösenden Reiz gestützt. Studien (Kutas, McCarthy & Donchin, 1977) der mentalen Chronometrie, die unter anderem eine Untersuchung der P300-Latenz durchführen, sind für die Einschätzung der P300 zugrundeliegenden Prozesse von Bedeutung. Aus diesem Grund soll hier kurz auf diese Befunde und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen eingegangen werden. Kutas et al. (1977) wiesen eine Variation der P300-Amplitude in Abhängigkeit von der Reizart und ebenso mit der Aufgabeninstruktion nach. Die Autoren fanden nach der Berechnung der Korrelation zwischen der P300-Latenz und den Reaktionszeiten in zwei Wahlreaktions-Aufgaben einen stärkeren Zusammenhang der P300-Latenz mit den Reaktionszeiten der Richtigkeitsinstruktion im Vergleich zu der Bedingung der Geschwindigkeitsinstruktion. Aufgrund dieser Resultate wird ein Zusammenhang der P300 mit der Reizanalyse postuliert (siehe auch Coles, Gratton, Bashore, Eriksen & Donchin, 1985).

McCarthy und Donchin (1981) manipulierten in einer späteren Untersuchung die Reizdiskriminierbarkeit zu einem umgebenden Hintergrund und die Reiz-Reaktionskompatibilität. Da sich die Reaktionszeiten sowohl durch die Reizdiskriminierbarkeit als auch durch die Reiz-Reaktionskompatibilität beeinflussbar zeigten, die P300-Latenz sich jedoch lediglich durch die Reizunterscheidbarkeit verschob, kommen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass die P300-Latenz unabhängig von der Reaktionsauswahl zu sein scheint. Demgegenüber beeinflussen die Prozesse der Antwortauswahl sowie -ausführung die P300 kaum. Diese Einschätzung der P300 wird durch eine Reihe weiterer Untersuchungen gestützt (siehe Magliero, Bashore, Coles & Donchin, 1984; Ragot, 1984; Smid, Mulder, Mulder & Brands, 1992; De Jong, Wierda, Mulder & Mulder, 1988).

Mittels Studien zur geteilten Aufmerksamkeit (*Divided Attention*) wurden weitere Untersuchungen zur Aufklärung der durch die P300 widergespiegelten Prozesse durchgeführt. Unter der Annahme einer begrenzten Aufmerksamkeitskapazität und -

verarbeitung sollte für die Verarbeitung eines Zielreizes bei der gleichzeitigen Ausführung einer weiteren Aufgabe eine geringere Kapazität zur Verfügung stehen.

Nach den oben dargelegten Ergebnissen ist ein Zusammenhang der P300 mit der Reizverarbeitung wahrscheinlich. Demnach könnte davon ausgegangen werden, dass sich eine verminderte Aufmerksamkeitskapazität auch in der Amplitude der P300 wiederfinden lässt (siehe Kok, 2001). Ein Hinweis auf diese Annahme bietet die geringere P300-Amplitude bei höherer Gedächtnisbelastung in Sternberg-Aufgaben (Strayer & Kramer, 1990; Okita, Wijers, Mulder & Mulder, 1985; Mecklinger, Kramer & Strayer, 1992) und ebenso die geringere P300-Amplitude bei einer größeren Anzahl von Distraktoren in einer visuellen Suchaufgabe (Hoffman, Simons, & Houck, 1983; Wijers, Okita, Mulder, Lorist, Poiesz & Scheffers, 1987). Gegenteilige Befunde hierzu fanden Luck & Hillyard, 1990. Für *N-back* Aufgaben (Watters, Geffen & Geffen, 2001) wird angenommen, dass sich in derartigen Aufgaben mit zunehmender Anzahl der zurückzuerinnernden Positionen die Arbeitsgedächtnisbelastung erhöht. (Bei diesen Aufgaben muss in einer Serie von aufeinanderfolgenden Reizen nicht auf den aktuellen, sondern auf den „n-letzten“ reagiert werden.) Im Sinne eines Kapazitätsmodells würde mit dieser Manipulation ebenso die für die individuelle Reizverarbeitung zur Verfügung stehende Aufmerksamkeitskapazität abnehmen. Tatsächlich konnte eine P300-Amplitudenmodulation in Abhängigkeit der experimentellen Manipulation festgestellt werden. Die P300-Amplitude verringerte sich mit der angenommenen erhöhten Arbeitsgedächtnisbelastung.

Eine direkte Manipulation der Arbeitsbelastung (*Work Load*) nahmen Israel, Chesny, Wickens und Donchin (1980; siehe auch Israel, Wickens & Donchin, 1979) vor. In einer Doppelaufgabe forderten die Autoren von ihren Probanden zusätzlich zu dem Zählen seltener Töne eine visuell-motorische Trackingaufgabe. Es konnte festgestellt werden, dass sich mit der zusätzlichen Aufgabe die von den Tönen evozierte P300-Amplitude verringerte.

Die oben aufgezeigten Ergebnisse können als Hinweis auf eine Beeinflussbarkeit der P300-Amplitude aufgrund der Schwierigkeit der Aufgabenanforderungen angesehen werden. Den Resultaten zufolge scheint sich eine verringerte, verfügbare Aufmerksamkeitskapazität in einer verringerten P300-Amplitude widerzuspiegeln.

Durch die oben dargelegten Experimente wird deutlich, dass gerade für zu fokussierende und bedeutungsvolle Reize eine P300 zu verzeichnen ist. Verhindert eine unzureichende Verarbeitungskapazität beispielsweise in Doppelaufgaben die vollständige Aufmerksamkeitszuwendung auf diese relevanten Reize oder muss die Verarbeitungskapazität zwischen mehreren Reizen aufgeteilt werden, zeigt sich eine

Verringerung der P300. Diese Resultate veranlassten Donchin (1981) zu der Annahme, die P300 spiegele eine Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten (*Updating of Working Memory*) wider, die den Abschluss von Verarbeitungsprozessen (Donchin & Coles, 1988) oder den Ablauf kontrollierter, bewusster Reizverarbeitung (Rösler, 1982) repräsentieren.

Karis, Fabiani und Donchin (1984) und Fabiani, Karis und Donchin (1986) überprüften in Studien den Zusammenhang der P300 mit vorhandenen Gedächtnisinhalten. Die Autoren konnten während der ersten Wortdarbietung eine verstärkte P300 für später erinnerbare Worte im Vergleich zu später nicht erinnerbaren Worten feststellen. Ein Zusammenhang der Amplitude der P300 während der Listendarbietung im ersten Versuchsabschnitt wurde lediglich für die explizite Abrufbedingung, nicht jedoch für die implizite Wortstammergänzungsaufgabe gefunden.

All die genannten Ergebnisse zur P300 zusammenfassend, ergibt sich folgendes Bild. Die P300 ist modalitätsunspezifisch und steht mit einer vollständigen Reizanalyse, jedoch nicht mit motorischen Verarbeitungsprozessen in Zusammenhang (McCarthy & Donchin, 1981). Sie tritt verstärkt für unerwartete und bedeutsame Reize auf. Ihre Amplitude weist anscheinend einen Zusammenhang zu der späteren expliziten Erinnerbarkeit der Reize auf. Diese Resultate scheinen die Vorstellung Donchins (1981) zu bestätigen. Der Autor postuliert, dass der Prozess der Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten durch die Amplitude der P300 reflektiert wird. Je stärker die Abweichung zwischen dem internen Modell und dem aktuell verarbeiteten Stimulus ist, desto größer ist die P300. Nach den Befunden in Bezug auf die Doppelaufgaben würde sich die Rolle der Aufmerksamkeit in einer Verstärkung der Prozesse zeigen, die eine bessere explizite Verfügbarkeit der Reize mit sich bringen. In diesem Sinn würde eine durch die Abwesenheit der Aufmerksamkeit verursachte verminderte P300 oder deren gänzliche Abwesenheit auf eine unvollständige Reizverarbeitung und auf die Nichtüberführung in das Arbeitsgedächtnis hindeuten. Es ist demzufolge anzunehmen, dass die Erhebung der P300 eine Einschätzung der aktuellen Reizverarbeitung ermöglicht.

5.3 Contingent Negative Variation (CNV)

Die *Contingent Negative Variation* (CNV) wurde von Walter, Cooper, Aldridge, McCallum und Winter (1964) bei der Untersuchung der Beziehung zwischen konditioniertem Reflex und EEG entdeckt.

Die CNV ist eine langsame negative Potentialverschiebung, die während des Interstimulus-Intervalls zwischen zwei Reizen auftritt, zwischen denen eine zeitliche und/oder inhaltliche Kontingenz besteht. Das Paradigma zu ihrer Untersuchung besteht im wesentlichen aus zwei Stimuli, von denen der erste (S_1 , Hinweisreiz, Warnreiz) das Auftreten des zweiten (S_2 , imperativer Stimulus) vorhersagt. Auf S_2 folgt typischerweise eine Reaktion. Nach einigen hundert Millisekunden baut sich zwischen den beiden Reizen S_1 und S_2 eine langsame Negativierung auf, welche kurz vor S_2 ihr Maximum erreicht und über das Auftreten des zweiten Reizes (S_2) hinausgehen kann (Simson, Vaughan & Ritter, 1977). Die CNV endet circa 200 ms nach der Darbietung von S_2 in einer steilen Positivierung, die CNV-Auflösung (*CNV Resolution*, Walter et al., 1964) genannt wird. In den meisten Untersuchungen bestehen die Stimuli aus einfachen wahrnehmbaren akustischen, visuellen oder taktilen Reizen (siehe Abbildung 4). Die auszuführende Reaktion, die auf den imperativen Stimulus folgt, ist vorwiegend motorisch (Tastendruck). Eine CNV kann aber auch beobachtet werden, wenn eine Reaktion in Form einer sensorischen (Rockstroh, Elbert, Canavan, Lutzenberger & Birbaumer, 1989) oder kognitiven Leistung (Leynes, Allen & Marsh, 1998) erbracht wird.

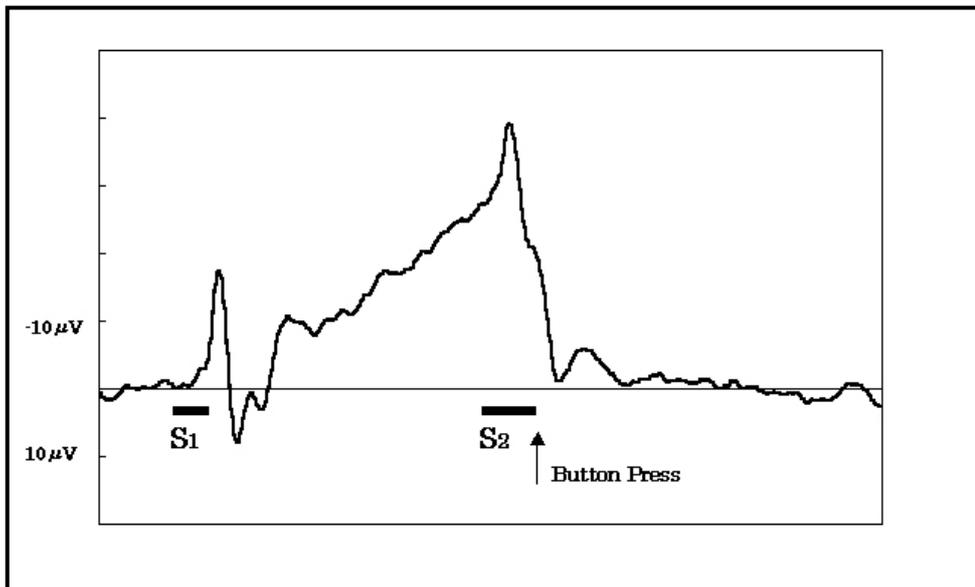


Abbildung 4: Typische CNV Wellenform (Interstimulus Intervall = 1500 ms)

Das Paradigma beinhaltet sowohl ein Element der Kontingenz (die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Elementes wird durch ein anderes vorgegeben) und der Kontinuität (die zeitliche Assoziation zwischen zwei Elementen). Die Kontingenz allein reicht jedoch zur Entstehung einer CNV nicht aus. Die jeweils subjektive Bedeutung

des zweiten Ereignisses ergibt bestimmte Wellenformen, Amplituden und Verteilungen der CNV.

Das Intervall zwischen Warnsignal (Hinweisreize (S_1)) und imperativem Stimulus (S_2) liegt im Millisekundenbereich. Bei kurzen Interstimulus-Intervallen (ISI) tritt die CNV als monophasische Negativierung zwischen S_1 und S_2 auf. Für längere Intervalle (mehr als 4 s) lässt sich eine biphasische Negativität mit einer frühen Komponente (um 1–3 s nach S_1) und einer späten Komponente mit Maximum in der zweiten Hälfte des Intervalls zwischen S_1 und S_2 beobachten. Die erste Subkomponente wird als *initial CNV* (iCNV) bzw. *Orientation Wave* bezeichnet. Sie erreicht ihr Maximum ungefähr 1 s nach S_1 , geht mit einer Orientierungsreaktion einher und weist eine frontale Skalpverteilung auf. Die zweite Komponente, die *terminal CNV* (tCNV) bzw. *Expectancy Wave*, besitzt ein Vertexmaximum und tritt kurz vor dem erwarteten Auftreten von S_2 auf. Die tCNV wird mit einer Erwartung in Zusammenhang gebracht, die sich in einer Mobilisierung von Ressourcen für die Strukturen der zu erwartenden Reizverarbeitung äußert. Darin wird eine Aktivität des Arbeitsgedächtnisses gesehen. Bei gesunden Probanden weisen die Potentiale eine beidseitige frontale oder zentrale Dominanz auf, die sich bei Patienten mit beidseitigen Läsionen des Frontalkortex nach präzentral verschiebt.

Die CNV wird als elektrokortikales Abbild motorischer und non-motorischer Vorbereitungsprozesse verstanden. Es wird davon ausgegangen, dass sich beide Komponenten bei kürzeren Interstimulus-Intervallen überlagern (Gaillard, 1977; Rohrbaugh et al., 1986).

Die CNV scheint generell eine kognitive Vorbereitung zu indizieren und wird mit einer Reihe psychologischer Konstrukte in Verbindung gebracht (z.B. Rockstroh, Elbert, Canavan, Lutzenberger & Birbaumer, 1989; Rockstroh, Elbert, Birbaumer & Lutzenberger, 1982). Weiterhin hat die Motivation der Probanden für die Aufgabendurchführung einen großen Einfluss auf die CNV.

Ein verzögertes Feedback, eine verspätete Aufgabenvervollständigung oder unerwartete Antwortkonsequenzen führen zu einem erneuten Anstieg der Negativität. Diese Negativierung, die sich in Folge des imperativen Stimulus ergibt, bezeichnet man als *Postimperative Negative Variation* (PINV).

Es wird berichtet, je höher die Amplitude der CNV, desto geringer sind die Reaktionszeiten. Ablenkung und Interferenz mit anderen Aufgaben während des Interstimulus-Intervalls reduzieren die CNV (*Distraction Effect*). Demzufolge reflektiert die CNV Aufmerksamkeit, Konzentration und Bereitschaft auf S_2 und die Aufgabe.

Aufgrund der bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass ereigniskorrelierte Potentiale geeignet sind, bestimmte Aspekte kognitiver Prozesse zu analysieren. So überschneiden sich zugrunde liegende Prozesse möglicherweise, verstärken sich in ihrer Wirkung gegenseitig oder heben einander auf. Diese Überlagerung müssen durch spezifische Verfahren wie Filterung und Averaging beseitigt werden. Darüber hinaus ist es problematisch, Komponenten, die unter verschiedenen experimentellen Bedingungen gemessen worden sind, identischen ihnen zugrundeliegenden Prozesse zuzuordnen (z.B. tCNV und Bereitschaftspotential).

Ein Nachteil der EKP ist, dass die räumliche Information im Gegensatz zur hohen zeitlichen Auflösung schwächer (geringere Lokalisation) ist. Die zeitliche Auflösung ist im Vergleich zu bildgebenden Verfahren jedoch besser.

5.4 Befunde zu elektrophysiologischen Untersuchungen bei älteren Erwachsenen

Zur Aufklärung altersbedingter kognitiver Änderungen werden neben den behavioralen Messgrößen auch Parameter der bioelektrischen Hirnaktivität herangezogen.

Hinsichtlich des P300-Komplexes wird bei einfachen Aufgaben eine Verlängerung der P300-Latenz mit dem Alter um 1 bis 2 ms pro Jahr, im jungen Erwachsenenalter beginnend, beschrieben (z.B. Polich, 1996). Für die P300-Amplitude sind die berichteten Resultate widersprüchlich. Häufig wird eine Verringerung mit dem Alter gefunden. Obwohl Amplitudenverringerungen und Latenzveränderungen noch nicht bis ins Letzte geklärt sind, könnte angenommen werden, dass ältere Personen den Aufgaben weniger Ressourcen zuwenden als Jüngere. Auf der anderen Seite könnten die Verringerungen in den Amplituden ebenfalls durch die differentiellen Latenzveränderungen der P300-Subkomponenten entstehen (Falkenstein, Hohnsbein & Hoormann, 1993; 1994). Bezüglich der Topografie findet sich bei Älteren häufig eine zunehmende Frontalisierung des P300-Komplexes.

Die neuronale Grundlage der inhibitorischen Kontrolle wird in den (prä)frontalen Hirnarealen gesehen. Damit wird einerseits die Hypothese einer verringerten Inhibition bei Älteren gestützt, andererseits wird von einer suboptimalen Regulation der selektiven Aufmerksamkeit bei älteren Erwachsenen ausgegangen.

Eine altersbedingte Verminderung der selektiv räumlichen Aufmerksamkeit in der visuellen Modalität bei Älteren wird von Zeef und Kok (1993) angeführt. In funktionellen Magnet-Resonanz-Untersuchungen (fMRI) fanden Milham et al. (2002) einen altersbedingten Abbau der Hirnstrukturen des dorsolateralen präfrontalen und

parietalen Kortex, welche die Aufmerksamkeitsfunktionen unterstützen. Erhöhte Aktivität zeigte sich im temporalen und anterioren inferioren präfrontalen Kortex. Dies untermauert die Vermutung, dass der Abbau der Hirnsubstanz in den Frontallappen stärker ist als in den sensorischen Bereichen des Kortex. Der anteriore cinguläre Kortex wies ebenfalls eine altersbedingt höhere Aktivierung auf, was mit der Annahme konform geht, dass ältere Menschen ab dem 70. Lebensjahr bei komplexen Aufgaben mehr Hirnareale einsetzen als jüngere Erwachsene. Somit könnte von erhöhter Anstrengung bei Älteren bei der Bewältigung von Aufgaben ausgegangen werden. Freude, Ullsperger und Mölle (1995) konnten eine Erhöhung der frontozentralen CNV im Laufe längerandauernder mentaler Belastungen nachweisen. Dies ist ein Hinweis auf eine abnehmende Effizienz der Informationsverarbeitung (abnehmende Kosten-Nutzen-Relation) und wird als Korrelat einer erhöhten Anstrengung (*Effort*) bei gleicher oder kaum gesteigerter Leistung interpretiert. Durch willkürliche Anstrengung kann Ermüdung kompensiert werden. Lorist et al. (1998) berichten dagegen eine leichte Verringerung und Verzögerung der späten CNV im Verlauf einer zweistündigen komplexen visuellen Aufgabe.

6 Ableitung der Fragestellung

Hinter der Fähigkeit, flexibel von einer zu einer anderen Aufgabe zu wechseln, verbirgt sich eine differenzierte kognitive Funktion. Üblicherweise werden die zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen dieser Fähigkeit als exekutive Kontrollprozesse bezeichnet. Die zu ihrer Untersuchung verwendeten Experimentalanordnungen werden als Aufgabenwechsel-Paradigmen bezeichnet.

Die Paradigmen erfordern einen vorhersehbaren oder randomisierten Wechsel zwischen zwei Aufgaben, der auf der Basis von unterschiedlichen oder teilweise überlappenden Stimulus-Response-Kontingenzen oder Aufgabensets (Rogers & Monsell, 1995) definiert ist. Häufig führt der Wechsel zwischen den Aufgaben zu längeren Reaktionszeiten. Seltener kommt es zu einem Anstieg der Fehlerraten im Vergleich zur Einzelbearbeitung der Aufgaben (Allport et al., 1994; Biederman, 1973; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995; Spector & Biederman, 1976). Es wird angenommen, dass Wechselkosten die zusätzliche Dauer der Prozesse reflektieren, die beim Wechsel zwischen den Aufgabensets (oder der Aufgabenset Re-konfiguration; Rogers & Monsell, 1995) involviert sind. Die Prozesse, die in die Aufgabenset Re-konfiguration einbezogen sind, wurden in einer Vielzahl von Aufgabenwechsel-Paradigmen untersucht. Dazu gehören:

- der Grad in dem sich Aufgabensets in Stimulus- und/oder Reaktions- Attributen überschneiden (Allport et al., 1994; Meiran, 2000a, b);
- die Hinweisreize, die signalisieren, welches Aufgabenset vor jedem Trial aktiv ist (Biederman, 1973; Meiran, 1996);
- Faktoren, die eine verbesserte Vorbereitung der Aufgabenset Re-konfiguration unterstützen (Nieuwenhuis & Monsell, 2002);
- die jeweilige Stärke oder Vertrautheit des Aufgabensets (Allport et al., 1994; Rubinstein et al., 2001) und
- die Zeit für die Vorbereitung auf einen bevorstehenden Aufgabenwechsel (De Jong, 2000; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995).

Die Struktur der Resultate führte zu zwei konkurrierenden Hypothesen hinsichtlich der Art der exekutiven Kontrollprozesse.

Nach der *Aufgabenset-Trägheits-Hypothese* (Allport et al., 1994) resultieren Wechselkosten auf der persistierenden Aktivierung der Aufgabe, die vor dem Wechsel relevant war und damit der Unfähigkeit, die neue Aufgabe völlig vorzubereiten. Dies wird als Konsequenz der proaktiven Interferenz mit der vorhergehenden Aufgabe interpretiert.

Eine alternative Hypothese ist die *Aufgabenset Re-konfigurationshypothese* (Rogers & Monsell, 1995), in der die Fähigkeit zur effektiven Vorbereitung auf den Aufgabenwechsel eine explizite Komponente darstellt. Die Hypothese schlägt zwei Stufen vor. Die erste endogene Stufe unterliegt der Kontrolle der Versuchspersonen und kann dem Aufgabenstimulus vorausgehen. Die zweite exogene Stufe unterliegt nicht der freiwilligen Kontrolle und wird nur ausgelöst, wenn der neue Stimulus präsentiert wird. In der ersten Stufe wird die Fähigkeit der Personen zu einem Aufgabenwechsel dargestellt, die zweite bildet die Auflösung der Interferenz im System ab und ist daher übereinstimmend mit der *Aufgabenset-Trägheits-Hypothese*.

Mit der Re-konfigurationshypothese wird impliziert, dass die Unterschiede in den Vorbereitungsprozessen für die Wechselkosten verantwortlich sind. Um Aufgaben zu wechseln, müssen Prozesse, wie z.B. der Prozess der Aufgabenset Re-konfiguration ablaufen, bevor geeignete aufgabenspezifische Prozesse stattfinden. Die Aufgabenset Re-konfiguration kann die wechselnde Aufmerksamkeit zwischen Stimulusattributen oder -elementen oder zwischen konzeptuellen Kriterien (Wieder Erfassen des Zielzustandes (Was ist zu tun?)) und Bedingungs-Handlungsregeln (Wie ist es zu tun?) ins prozedurale Arbeitsgedächtnis (oder deren Löschung) beinhalten, sowie ein anderes Antwort-Set ermöglichen und die Antwort-Kriterien adjustieren.

Rubinstein, Meyer und Evans (2001) haben in ihrem Stufenmodell der exekutiven Kontrolle die Prozesse, die am Aufgabenwechsel beteiligt sind, schematisiert dargestellt (vgl. Abbildung 2). Von den Aufgabenprozessen trennen sie die exekutiven Kontrollprozesse, die es ermöglichen, die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses für die bevorstehende Aufgaben zu konfigurieren. Dabei werden die Stufen der Zielverschiebung und Regelaktivierung unterschieden.

Neben dem Aufgabenwechselparadigma ist die Analyse kognitiver Prozesse in Abhängigkeit vom Alter in der vorliegenden Arbeit von besonderer Bedeutung.

Für ältere Erwachsene gibt es in Bezug auf den Aufgabenwechsel unterschiedliche Befunde. Einerseits werden längere Reaktionszeiten beschrieben (z.B. Mayr & Liebscher, 2001; Kray & Lindenberger, 2000). Andererseits scheinen die Vorbereitung auf den Aufgabenwechsel und die Länge der Vorbereitungsintervalle Altersdefizite auszugleichen (Meiran & Gotler, 2001; De Jong, 2001).

Der Untersuchung von Altersunterschieden haben sich eine Vielzahl von Forschern zugewandt. Dabei wird allgemein davon ausgegangen, dass die beobachteten Verlangsamungen in den Reaktionen mit zunehmendem Alter Änderungen in den kognitiven Funktionen des Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben werden können. In Studien (Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr &

Liebscher, 2001; Meiran, Gotler & Perlman, 2001) wurden Altersunterschiede in Bezug auf die Reaktionszeiten nachgewiesen. Des Weiteren weisen ältere Erwachsene höhere Wechselkosten im Gegensatz zu den Jüngeren auf.

Einen weiteren wichtiger Punkt der vorliegenden Arbeit liegt in die Untersuchung der kognitiven Prozesse anhand von Parametern der bioelektrischen Hirnaktivität. Unter Ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) ist die hirnelektrische Aktivität zu verstehen, die vor, während oder nach bestimmten Ereignissen als Spannungsschwankungen messbar ist (Rösler, 1982). Dadurch wird die Verarbeitung des Stimulus im EKP beobachtbar. In der vorliegenden Untersuchung erfolgt eine Beschränkung auf die Analyse der Amplituden der P300 und der CNV. Während die P300-Amplitude von der Auftretenssicherheit eines Reizes, dessen subjektiver Erwartung und Bedeutung im Aufgabenkontext abhängig ist, tritt die CNV zwischen zwei Reizen mit zeitlicher und/oder inhaltlicher Kontingenz auf.

In Arbeiten zur EKP-Forschung (Falkenstein et al., 1993; 1994; Freude et al., 1995; Polich, 1996) werden ebenso Altersunterschiede in Bezug auf die CNV und die P300 beschrieben. In einer Untersuchung von Hannan, Karayanidis, Poboka, Heathcote und Michie (2003) wurden in der Wechsel-Bedingung kleinere Amplituden zeitgebunden zum Hinweisreiz Onset gefunden als in der Wiederholungs-Bedingung.

In dieser Untersuchung soll der Frage nachgegangen werden, ob sich altersbedingte Änderungen hinsichtlich Aufgabenwechsel und Zeitdruck bedingt in den Leistungsdaten und auf elektrokortikaler Ebene im ereigniskorrelierten Potential nachweisen lassen. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Klärung der Fragestellung ob und welche altersbedingten Unterschiede in Bezug auf die Reaktionszeiten und die ereigniskorrelierten Potentiale bei der Bearbeitung von Aufgaben auftreten.

Um diese Fragestellung zu eruieren, galt es folgende Hypothesen zu untersuchen:

- H1: Es wird erwartet, dass ältere Probanden in den Leistungsdaten längere Reaktionszeiten und höhere Fehlerraten aufweisen.
Weiterhin wird angenommen, dass Ältere höhere Wechselkosten aufweisen, die Reaktionszeiten unter Zeitdruck in der gesamten Gruppe geringer sind als ohne Zeitdruck, allerdings bei den jüngeren Erwachsenen am niedrigsten.*

Ebenso stellt sich die Frage nach Unterschieden im Hinblick auf die Vergleichsaufgaben, welche in der Methodik dieser Untersuchung genauer beschrieben werden.

In den hier vorliegenden Daten soll ebenfalls der Einfluss von Zeitdruck und Wechsel auf die einzelnen EKP-Parameter untersucht werden.

Wie bilden sich Aufgabenwechsel und Zeitdruck in Wechselwirkung mit dem Alter in den Parametern der ereigniskorrelierten Potentiale ab, speziell in den Amplituden der P300 und der CNV?

Es werden Veränderungen zwischen den Amplituden in den Bedingungen Zeitdruck vs. kein Zeitdruck, Aufgabenwechsel vs. Aufgabenwiederholung erwartet.

Des Weiteren werden Veränderungen moduliert durch den Alterseinfluss erwartet.

Die P300 kovariert nach Rösler (1982) mit dem Umfang von kontrollierten Verarbeitungsprozessen. Die Verringerung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses führt ebenso wie der Zuwachs an Reizkomplexität, im Sinn der Verarbeitung aufgabenrelevanter Reizmerkmale zu einem Anstieg in der P300 Latenz und in den Amplituden (Johnson, 1986).

Auf Grund dieser Befunde sowie Resultaten aus der Altersforschung wird für die durchgeführte Untersuchung auf den Hinweisreiz eine Art P300 erwartet.

Davon ausgehend ergeben sich folgende Annahmen:

H2: Es werden positivere Amplituden für die älteren Probanden erwartet. Bei einem Aufgabenwechsel sollen die Amplituden positiver sein, bei den älteren Erwachsenen noch positiver als bei den jüngeren Erwachsenen. Ebenso soll unter Zeitdruck für die Älteren eine stärkere Positivierung auftreten als für die Jüngeren. Für die Vergleichsbedingungen numerischer Vergleich und Größenvergleich werden Unterschiede und Altersunterschiede vermutet.

im Hinblick auf die P300-Amplituden auf den Aufgabenstimulus ergeben sich die folgenden Hypothesen:

H3: Für die P300-Amplituden bezogen auf den Aufgabenstimulus wird ein Anstieg der Amplituden erwartet, der infolge des Kapazitätsabzugs für die Bewältigung der Aufgabe bei den älteren Probanden weniger ausgeprägt ist als bei den Jüngeren, ebenfalls in Abhängigkeit von den Bedingungen. Für die Aufgabenwechselbedingungen (Wechsel vs. Wiederholung) werden positivere Amplituden für den Aufgabenwechsel, unabhängig vom Alter, erwartet.

Dennoch sollten die Amplituden bei den jüngeren Probanden noch positiver sein als bei den Älteren.

Unter Zeitdruck werden höhere Amplituden erwartet als ohne Zeitdruck. Dies soll sich bei den Jüngeren noch stärker zeigen als bei den Älteren.

Im Hinblick auf den Vergleich (Größenvergleich und numerischer Vergleich) werden allgemeine Unterschiede sowie Altersunterschiede vermutet.

Im Hinblick auf die CNV-Amplituden werden ebenfalls Altersunterschiede erwartet.

H4: Für die Aufgabenwechselbedingung werden höhere Amplituden (negativer) für die Wechselbedingung, noch größere bei den älteren Probanden vermutet. In der Zeitdruckbedingung sollen die Amplituden für Zeitdruck größer, bei den Älteren noch höher sein als für die Bedingung kein Zeitdruck. Beim numerischen und Größenvergleich werden ebenfalls Altersunterschiede erwartet. Die Amplituden sollten bei den älteren Probanden größer sein als bei den Jüngeren.

Im Rahmen des Experimentes sollten zusätzlich die Befindensänderungen erfasst werden. Hier stellen sich folgende Hypothesen:

H5: Es wird ein positiver Zusammenhang angenommen zwischen einem hohen Wert im Working Memory Test und schnellen Reaktionszeiten.

H6: Der Zusammenhang zwischen hohen Werten in der Konzentrationsleistung des Aufmerksamkeits-Belastungstests (Test d2) und schnellen Reaktionen bei den Reaktionszeitaufgaben sollte positiv sein.

H7: Für die Eigenzustandsskala werden Veränderungen über die Zeit in dem Maße erwartet, dass sich am Ende der Untersuchung die negativsten Einschätzungen allgemein und unabhängig vom Alter zeigen sollten. Es werden signifikante Veränderungen in den Hauptkategorien Motivation und Beanspruchung erwartet. Dabei werden negative Einschätzungen in den Skalenbereichen „Ermüdung/Erholtheit“, „Spannungslage“, „Stimmungslage“ sowie „Schläfrigkeit und Wachheit“ erwartet.

7 Methodik

Für die Beantwortung der Fragestellungen wurden die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes F5204: „Anwendung neurophysiologischer und neuropsychologischer Parameter zur Einschätzung individueller Voraussetzungen bei der Bewältigung von wechselnden Arbeitsanforderungen und Arbeitsstress“ in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Berlin durch die Gruppe „Arbeitsgestaltung bei psychischer Belastung, Stress“ durchgeführt.

Am Experiment beteiligten sich freiwillig 45 Probanden (37 weiblich, 8 männlich), deren Teilnahme mit 10 € pro Stunde vergütet wurde. Die Probanden waren über den Ablauf der Untersuchung informiert und hatten das Recht, den Versuch jederzeit ohne Angabe von Gründen abubrechen.

Die Probanden wurden nach zwei Altersgruppen (20-30 Jahre und 49-61 Jahre) ausgewählt (siehe Tabelle 1: Zusammensetzung der Stichprobe).

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stichprobe

	Jüngere 20-30 Jahre	Ältere 49-61 Jahre
Mittelwert (M)	23,8 Jahre	54,3 Jahre
Standardabweichung (SD)	3,14 Jahre	3,84 Jahre
Weiblich	20	17
Männlich	5	3

7.1 Experimentelles Design

An dieser Stelle wird das Reaktionszeitexperiment dargestellt, da es den Hauptteil der Untersuchung ausmacht. Die zeitliche Abfolge im Untersuchungsablauf wird dezidiert geschildert.

Die Probanden hatten die Aufgabe eine Zahl, die nach der Zahl „5“, welche als expliziter Hinweisreiz (Cue) diente, präsentiert wurde, entweder nach dem Wert der Zahl oder nach der Schriftgröße zu beurteilen. War die Zahl fünf in schwarzer Farbe geschrieben, so sollte die nachfolgende Zahl nach der Schriftgröße beurteilt werden. Wenn die Zahl fünf weiß dargestellt war, sollte ein numerischer Vergleich erfolgen. Zusätzlich wurde der Hintergrund als weiterer Hinweisreiz genutzt, der eine Aussage über den Bearbeitungszeitraum zuließ. War der Hinweisreiz grün hinterlegt, so standen die Probanden nicht unter Zeitdruck. Ohne Zeitdruck betrug das Antwortzeitfenster

4000 ms. Erfolgte bis dahin keine Antwort, so erklang ein Signalton, der den Ablauf des Zeitintervalls für diese Reaktion anzeigte. Ein roter Hintergrund wies die Probanden auf den Zeitdruck hin. Um die Versuchspersonen an ihrer eigenen Leistungsgrenze arbeiten zu lassen, verlängerte sich die Antwortzeit um 5% gegenüber dem vorangegangenen Wert, wenn die Zeit unter der Zeitdruckbedingung nicht eingehalten wurde. Reagierte der Proband richtig und in der vorgegebenen Zeit, dann verkürzte sich das Zeitintervall für die folgende Reaktion um 10% (vgl. Kaernbach, 1991). Bei falschen Antworten erfolgte keine Manipulation des Zeitintervalls.

Aufgabe der Probanden war es so schnell und so genau wie möglich zu entscheiden, ob die dargebotene Zahl kleiner oder größer als die Zahl 5 war. Als Stimuli dienten die Zahlen 2, 3, 4, 6, 7 und 8, die in unterschiedlicher Größe dargeboten wurden (siehe Tabelle 2). Die linke Taste sollte immer mit dem linken Zeigefinger betätigt werden, wenn unabhängig von der Vergleichsart die nachfolgende Zahl kleiner war. War die auf den Hinweisreiz folgende Zahl in ihrem numerischen Wert oder in der Schriftgröße größer, sollte die rechte Taste mit dem rechten Zeigefinger betätigt werden.

Tabelle 2: Schriftgrößen der im Experiment verwendeten Stimuli und des Hinweisreizes

Ziffer	Höhe der Ziffer	Breite der Ziffer
5	3,5 cm	2,8 cm
2	5,0 cm	3,4 cm
3	2,3 cm	1,5 cm
4	8,8 cm	6,2 cm
6	6,0 cm	3,7 cm
7	2,0 cm	1,3 cm
8	3,3 cm	2,1 cm

Bei Fehlern der Probanden ertönte für je 100 ms ein tiefer Signalton (500 Hz, 55 dBA), bei Zeitüberschreitung ein hoher Signalton (2000 Hz, 52 dBA). Das Grundgeräusch lag bei 44,3 dBA.

Die Abfolge der Aufgabenpräsentation erfolgte in Anlehnung an das „Alternating-Runs-Paradigm“ von Rogers und Monsell (1995).

Für das Experiment ergab sich folgende Sequenz: AABBAABB..., d.h. ein Proband löste eine Aufgabenbedingung zweimal, bevor ein Wechsel zur nächsten erfolgte. Das Alternating-Runs-Paradigm hat den Vorteil, dass man die Aufgabenwechseltrials (auch

Switch-Trials genannt, A**ABBA**ABB) den Aufgabenwiederholungstrials (auch Non-Switch-Trials genannt, A**ABB**ABB) direkt gegenüberstellen kann.

Die Stimuli wurden im Hinblick auf die Kongruenz zu der ausführenden Hand gewählt (numerischer Wert vs. Schriftgröße). Auf die Zahlen „2“, „4“, „7“ und „8“ musste je nach Aufgabenset mit dem rechten als auch mit dem linken Zeigefinger reagiert werden (inkongruent). Für die Ziffern „2“ und „4“ musste im numerischen Vergleich die linke Taste betätigt werden (d. h. 2, 4 kleiner 5). Im Vergleich nach den Schriftgrößen, in welchem die Zahlen „2“ und „4“ größer als der Hinweisreiz abgebildet waren, sollte die rechte Taste betätigt werden. Bei den Stimuli „7“ und „8“ war es umgekehrt.

Auf die Zahlen „3“ und „6“ mussten die Probanden immer mit der gleichen Hand reagieren (kongruente Stimuli). Die Zahl „3“ war im Vergleich zum Hinweisreiz in der Schriftgröße und dem numerischen Wert kleiner, d.h. die Reaktion auf diesen Stimulus musste in jedem Einzeltrial mit dem linken Zeigefinger erfolgen. Bei der Zahl „6“ mussten die Reaktionen mit der rechten Hand erfolgen. Der Stimulus war immer größer als der Hinweisreiz (siehe Abbildung 5).

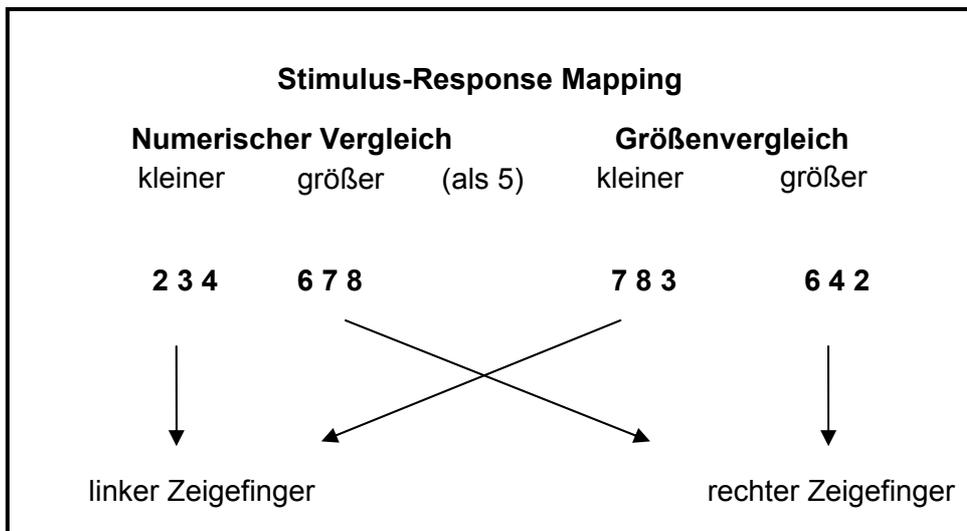


Abbildung 5: Stimulus Response Mapping

Zu Beginn jedes Trials wurde kurz ein Fixationskreuz (Höhe 3 cm, Breite 3 cm) im Zentrum der Projektionsfläche dargeboten, welches dann durch den Hinweisreiz ersetzt wurde. Die Probanden wurden instruiert, das Kreuz auf der Leinwand zu fixieren.

Der Hinweisreiz wurde für 300 ms präsentiert. Das Cue-Stimulus-Interval (CSI) betrug 1500 ms. Die Präsentation des Stimulus erfolgte für 200 ms. Das Stimulus-Response-Interval (SRI) wurde, wie oben beschrieben, individuell variiert. Die Zeit

zwischen einer erfolgten Reaktion (Response-Cue-Interval; RCI) oder einem Signalton bis zum nächsten Hinweisreiz betrug 1000 ms. Der Ablauf des Experiments ist in Abbildung 6 detailliert dargestellt.

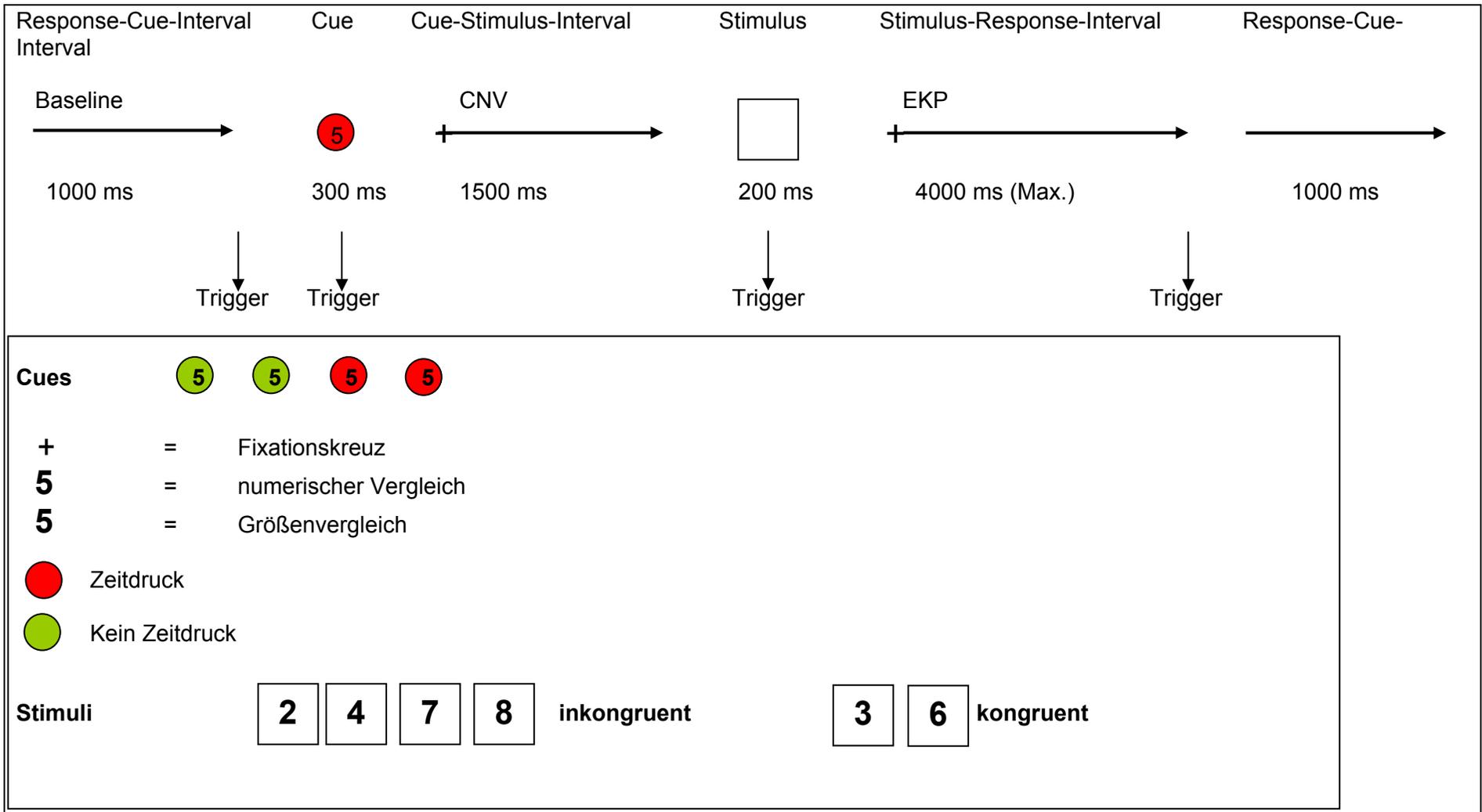


Abbildung 6: Ablauf des Reaktionszeitexperimentes

Wurden im EEG vermehrt Körper- und/oder Augenbewegungen erkennbar oder zeigten die Probanden Anzeichen von Ermüdung, wurde die Untersuchung unterbrochen und nach einer Pause fortgesetzt.

7.2 Unabhängige und abhängige Variablen

Die unabhängigen jeweils zweistufigen Variablen sind *Zeitdruck* (Zeitdruck vs. kein Zeitdruck), *Wechsel des Aufgabensets* (Switch vs. Repeat) und *Vergleich* (numerischer Vergleich vs. Schriftgrößenvergleich). Die Variable *Zeitdruck* wurde über die den Probanden individuell angepasste Zeitvorgabe in der Zeitdruckbedingung manipuliert. In der Bedingung *kein Zeitdruck* blieb die Zeitvorgabe von 4000 ms für alle Probanden gleich.

Bei der Variable *Wechsel* wurde nach Aufgabenwechsel (Switch-Trials) und Aufgabenwiederholung (Repeat-Trials) unterschieden.

In der Vergleichsbedingung erfolgte die Manipulation über den Wechsel der Anforderung zum numerischen Vergleich und zum Schriftgrößenvergleich.

Durch die Kombination der experimentellen Variablen ergibt sich ein 2x2x2 Design mit acht Bedingungen (siehe Abbildung 7), die untersucht wurden.

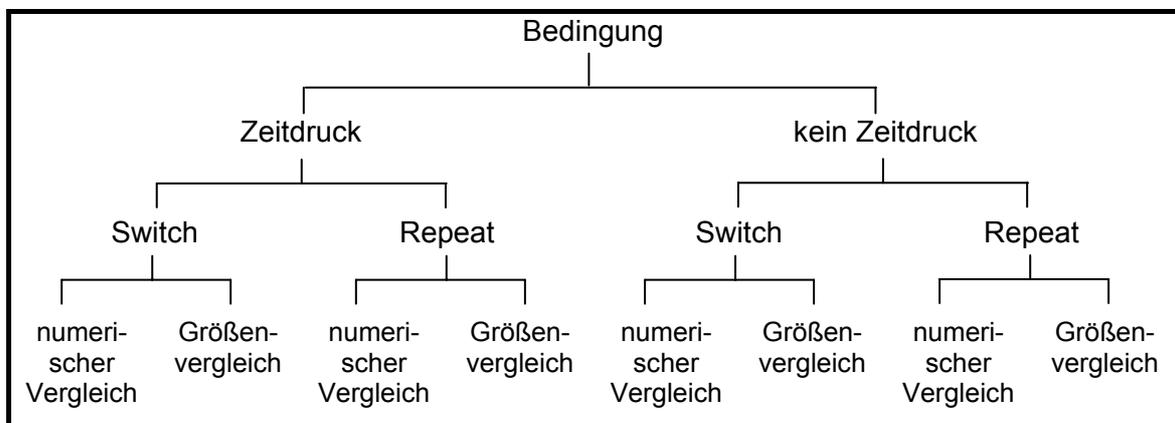


Abbildung 7: Untersuchungsdesign

Als abhängige Variablen galten die Leistungsdaten mit den Reaktionszeiten sowie den Fehlern und Missings. Die Zwischensubjektvariable war der Faktor Alter (jung vs. alt). Das gleiche faktorielle Design galt für die ereigniskorrelierten Potentiale (CNV und P300) als weitere abhängige Variable.

Jede der acht Bedingungen wurde pro Block 20 mal und damit insgesamt 160 mal präsentiert.

7.3 Untersuchungsablauf

Die Untersuchung fand an zwei Tagen statt. Im ersten Teil wurde eine neuropsychologische Untersuchung durchgeführt.

Nachdem die Probanden über den Ablauf der Untersuchung informiert worden waren und eine schriftliche Einverständniserklärung unterschrieben hatten, begann die neuropsychologische Untersuchung mittels folgender Tests und Fragebögen zur Erfassung der Verhaltensdaten:

- Probandenfragebogen,
- *EZ-Skala* (Eigenzustandsskala, Nitsch, 1976),
- *d2-Test* (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test, Brickenkamp, 2002),
- *Working Memory Span* (Zahlenspanne, Case et al., 1982),

Die Fragebögen sind im Anhang dargestellt.

Folgende Einschlusskriterien wurden als Voraussetzung für die Teilnahme an der EEG-Untersuchung mit Reaktionszeitexperiment mittels eines Probandenfragebogens geprüft:

- normales Hörvermögen,
- normales bzw. korrigiertes Sehvermögen,
- Rechtshändigkeit (Lateralitätsquotient),
- keine früheren neurologischen Erkrankungen bzw. Schädel-Hirn-Traumata.

Die Händigkeit der Versuchsteilnehmer wurde mit der Kurzversion *des Oldfield-Handpräferenz Fragebogens* (Oldfield, 1971) bestimmt. Die älteren Probanden erreichten einen mittleren Lateralitätsquotienten von 98 (SD= 4,41), bei den Jüngeren lag er bei 95 (SD= 6,03).

Am ersten Untersuchungstag wurde jeder Proband in das Reaktionszeitexperiment eingewiesen und hatte die Möglichkeit, sich mit den Aufgaben vertraut zu machen. Am zweiten Untersuchungstag wurde jedem Probanden vor dem Reaktionszeitexperiment ein Fragebogen für die Teilnahme an der Untersuchung vorgelegt. Vom Experiment ausgeschlossen wurden die Versuchsteilnehmer, die in der Nacht vor dem Experiment nicht ausreichend geschlafen oder Alkohol zu sich genommen hatten. Als Ausschlusskriterium galt auch die Einnahme von Medikamenten, die auf das zentrale Nervensystem wirken sowie der Konsum von Drogen (Erfassung mittels Probandenfragebogen).

Den Probanden wurden für das Reaktionszeitexperiment EEG-Elektroden appliziert (siehe Abbildung 9). Anschließend durchliefen sie das Reaktionszeitexperiment. Vor und nach dem Experiment wurde ihre Befindlichkeit mit der EZ-Skala erhoben.

Die Untersuchungen fanden in einem elektromagnetisch und akustisch abgeschirmten (schallgedämmten) schwach beleuchteten Laborraum statt. Die zuvor mit EEG- und EOG-Elektroden applizierten Probanden nahmen vor einer Projektionswand in einem bequemen Versuchsstuhl Platz. Die Bilder wurden mit einem LCD Projektor (Sharp XG-NV2E) vom Computer übertragen. Der Sehabstand betrug 180 cm. Die Projektionsfläche war 65 cm hoch und 85 cm breit. Der durchschnittliche Sehwinkel betrug $1,4^\circ$.

Die Probanden hatten ein Tableau mit zwei Tasten vor sich, die sie, je nach Aufgabe, so schnell und so genau wie möglich mit dem rechten bzw. linken Zeigefinger betätigen sollten.

Die Probanden waren darüber informiert, dass der Versuchsraum mittels einer Videokamera überwacht wurde. Außerdem konnten sie jederzeit über eine Wechselsprechanlage Kontakt mit dem Versuchsleiter aufnehmen. Dieser wiederum konnte über die Wechselsprechanlage Anweisungen geben und den Beginn des Experimentes anzeigen. So war der ständige Kontakt zu den Probanden gewährleistet.

Vor Beginn des eigentlichen Experiments am zweiten Untersuchungstag, konnten die Probanden nochmals die Aufgabe üben und sollten als Einschlusskriterium dabei mindestens 20 Trials in Folge richtig beantworten. Erst wenn dies erreicht wurde, begann das eigentliche Experiment. Anhand der Reaktionszeiten in diesem Übungsdurchgang wurde der Ausgangswert für die jedem Probanden individuell zur Verfügung gestellte Zeit zwischen dem Erscheinen des Stimulus und der Antwort, bei den Durchgängen mit Zeitdruck, bestimmt. Die aufgezeichneten Reaktionszeiten wurden gemittelt und 1000 ms dazu addiert. Der so ermittelte individuelle Ausgangswert ist der Wert, der den Probanden zwischen dem Erscheinen des Stimulus und der nachfolgenden Reaktion, zu Beginn der Zeitdruckbedingung, zur Verfügung stand.

Die Probanden absolvierten sechs Blöcke zu je 160 Trials. Die Reihenfolge der Zahlen wurde pseudorandomisiert und war über die gesamten sechs Blöcke ausbalanciert. Nach jeweils 10 Trials erfolgte ein Wechsel zwischen Zeitdruck (Hinterlegung rot) und kein Zeitdruck (Hinterlegung grün). War ein Block beendet, wurde eine Pause von ca. fünf Minuten gemacht, nach drei Blöcken eine von ca. 15-20 Minuten.

7.4 Datenerfassung und Datenaufbereitung

7.4.1 Verhaltensdaten

Um die Auswirkung der durchgeführten Untersuchung auf die Stichprobe methodisch kontrollieren und beschreiben zu können sowie Befindensveränderungen über die Zeit zu analysieren, wurde sowohl am ersten Untersuchungstag als auch zu Beginn und am Ende

des Versuchs am zweiten Untersuchungstag von den Probanden das subjektiven Erleben mittels der Eigenzustandsskala von Nitsch (1976) bearbeitet.

Zur Erfassung der kurzfristigen Aufmerksamkeit und Konzentration sowie der Testung der Zahlengedächtnisspanne zur Analyse der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses wurden am ersten Untersuchungstag der Test d2 von Brickenkamp (2002) und der Working Memory Span Test (Case et al., 1982) eingesetzt. Der Aufmerksamkeits-Belastungstest (Brickenkamp, 2002) wird einerseits als Aufmerksamkeitstest andererseits als Mittel gesehen, der die Konzentrationsleistung misst, die auf externe visuelle Reize bezogen ist. Um individuelle Besonderheiten zu prüfen, wurde der Indikator Zahlenspanne des Arbeitsgedächtnisses mittels *Working Memory Test* (siehe Methodenteil) erhoben. Die Zahlenspanne wird als ein Indikator des Arbeitsgedächtnisses angesehen.

7.4.1.1 Eigenzustandsskala nach Nitsch

Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala), in Form einer Adjektivliste dargeboten, lässt eine subjektive Einschätzung der aktuellen situationsspezifischen Befindlichkeit zu, die sich aus dem momentanen Erleben und dessen subjektiver Bewertung der Person ableitet. Es werden Aspekte der momentanen Beanspruchung und der augenblicklichen Motivation erfasst, welche einen unmittelbaren, handlungsregulierenden Einfluss auf die Bewältigung von Aufgaben haben. Die EZ-Skala fokussiert auf die aktuelle Anforderungssituation.

Die Probanden sollten mittels einer sechsstufigen Ratingskala mit 40 Eigenschaftswörtern, die den Eigenzustand schildern, ihr aktuelles Befinden beschreiben. Für jede Versuchsperson ergeben sich 14 hierarchisch aufeinander bezogene Faktorenwerte, die unter den Grundaspekten „Motivation“ und „Beanspruchung“ interpretiert werden können. Die sich auf die momentane Leistungsmotivation beziehende „Handlungsbereitschaft“ (Faktor Motivation) wird von der durch die subjektive Einschätzung der Aufwand/Leistungsrelation bestimmten „Handlungsfähigkeit“ (Faktor Beanspruchung*) unterschieden. Die Differenzierung von „Handlungsenergie“ (Aktivations- oder Intensitätsaspekt der Handlung) und „Handlungsregulation“ (Steuerungs- Organisations- oder Strukturaspect der Handlung) ergibt die vier Faktoren der zweiten Analyseebene (Aktivation, Effizienz, Tension*, Defizienz*). Diese fassen die acht Binärfaktoren der dritten Analyseebene inhaltlich zusammen. Die Faktorenhierarchie ist in Abbildung 8 dargestellt.

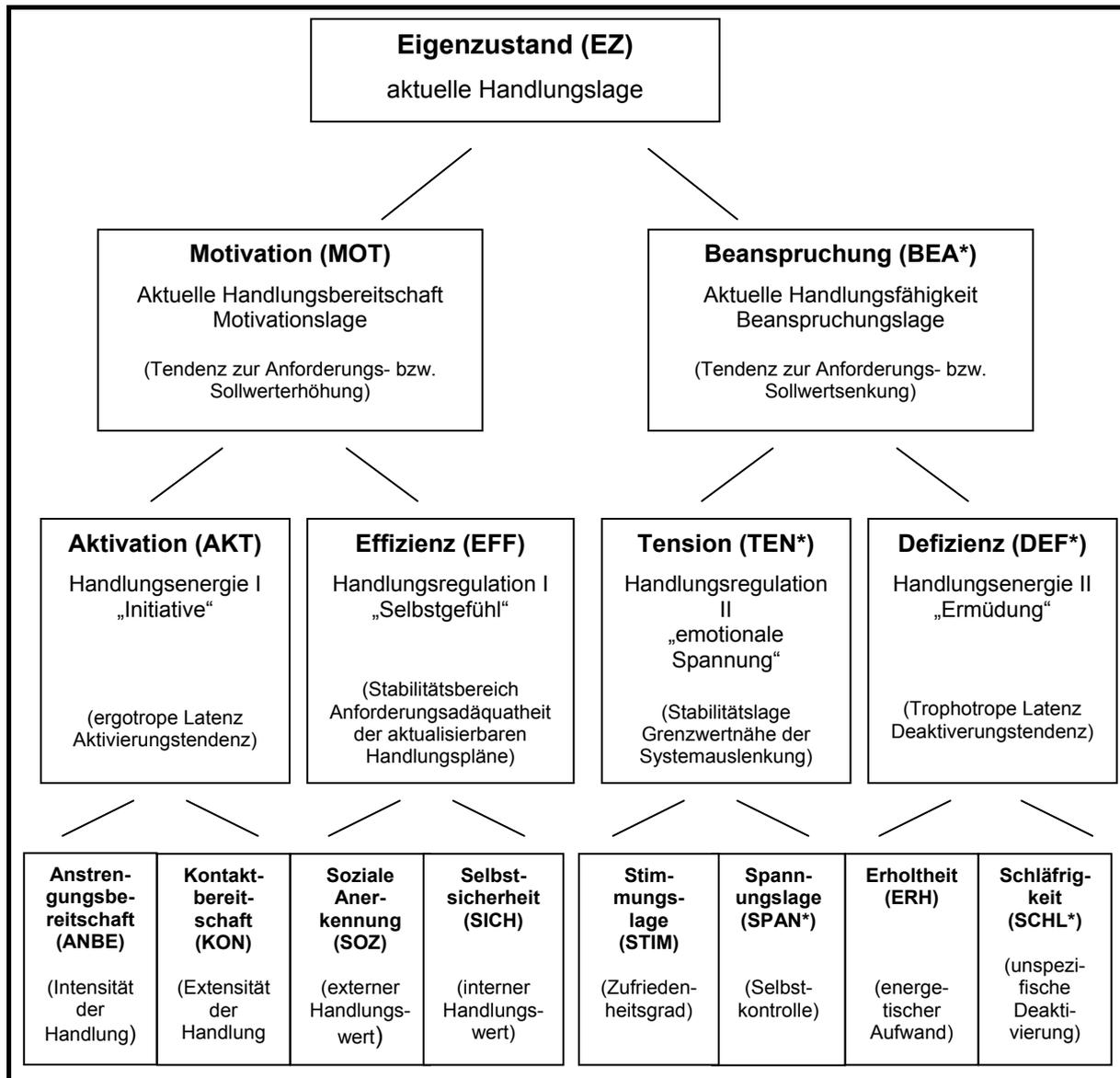


Abbildung 8: Faktorenhierarchie der EZ-Skala (Interpretationsschema) nach Nitsch (1976). Die umgepolten Faktoren sind mit „*“ gekennzeichnet (Beanspruchung, Tension, Spannungslage, Defizienz, Schläfrigkeit).

Durch Stanine-Transformation werden die einzelnen Faktorenwerte normiert und ergeben Punktscores zwischen 1 und 9. Die Werte 4 bis 6 kennzeichnen den Durchschnittsbereich. Um eine Vereinheitlichung der Interpretation zu gewährleisten, sind die Stanine Werte so gepolt bzw. umgepolt worden, dass sich bei allen Faktoren mit zunehmenden Werten die subjektiv positive Einschätzung der eigene Handlungslage erhöht.

Durch die Vorlage der Eigenzustandsskala von Nitsch am Anfang sowie am Ende der Untersuchung wurde eine differenzierte Beurteilung der Veränderung von erlebter Beanspruchung und Motivation möglich. Solche Veränderungen können als Folge einer Belastung durch die Untersuchungssituation hervorgerufen werden.

7.4.1.2 Test d2 (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test) nach Brickenkamp

Der Aufmerksamkeits-Belastungstest (Brickenkamp, 2002) ist eine standardisierte Weiterentwicklung des sogenannten Durchstreichtests. Es werden Tempo und Sorgfalt des Arbeitsverhaltens bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize (Detail-Diskrimination) gemessen. Damit wird die Messung des Grads an Aufmerksamkeit und Konzentration unter hohen "Speed"-Bedingungen ermöglicht. Unter Aufmerksamkeit und Konzentration verstehen Brickenkamp und Karl (1986, S. 195) das Vermögen eines Individuums, "sich bestimmten (aufgaben-) relevanten internen oder externen Reizen selektiv, d.h. unter Abschirmung gegenüber irrelevanten Stimuli, ununterbrochen zuzuwenden und diese schnell und korrekt zu analysieren".

Die Diskriminierungs-Aufgaben sind für sich gesehen sehr leicht zu lösen. Die Herausforderung des Tests besteht im Zeitdruck und in der monotonen Wiederholung der Aufgaben.

Das Testblatt besteht aus 14 Zeilen zu je 47 Zeichen. Die Buchstaben d und p sowie deren Markierungen (ein bis vier senkrechte Striche) sollen unterschieden werden. Es sollen alle d's mit zwei Strichen (Targets) markiert werden. Sie sind eingestreut unter d's mit mehr oder weniger als zwei Strichen sowie unter p's mit ein bis vier Strichen, die alle nicht berücksichtigt werden sollen.

In die Auswertung werden einerseits die Menge der bearbeiteten Zeichen und andererseits die Qualität der Bearbeitung (Anzahl der Fehler) einbezogen. Die Gesamtzahl (GZ) der bearbeiteten Zeichen, einschließlich aller Fehler, bildet den quantitativen Leistungsrohwert. Die Leistungsgüte als qualitativer Leistungsaspekt ergibt sich aus dem Fehlerrohwert (F), welcher aus den Auslassungsfehlern (F1) und den Verwechslungsfehlern (F2) besteht, die addiert und prozentual auf die Leistungsmenge bezogen werden (Messwert F%).

Der Konzentrationsleistungswert (KL, 1994 neu eingeführt) setzt sich aus der Summe aller korrekt durchgestrichenen Zeichen, abzüglich der Verwechslungsfehler (F2), zusammen.

Die Werte GZ-F (einfach korrelierte Mengenleistung) und KL (Konzentrationsleistung) korrelieren in der Regel sehr hoch (Mittelwert $r > .93$). Erwartungsgemäß hoch ist ebenfalls der Zusammenhang zwischen absolutem und relativem Fehlerwert (F, F%). Hinsichtlich der internen Konsistenz erwies sich der Test d2 in zahlreichen Untersuchungen als hoch reliabel ($\alpha > .90$); auch die Stabilitätskoeffizienten waren zufriedenstellend. Der Konzentrationsleistungswert (KL) entspricht dem üblichen Modus der Bewertung von Leistungen in der Psychologie, ist verfälschungsresistent und gilt daher als sehr guter Indikator für die Konzentrationsleistung. Aus diesem Grunde wurde er neben dem Fehlerwert (F%) für die vorliegenden Auswertungen genutzt.

Konstruktvalidität, faktorielle wie auch empirische Validität sind durch eine große Zahl von Untersuchungen belegt. Der Test d2 gilt als relativ intelligenzunabhängiges Verfahren, vor allem bei psychisch unauffälligen Personen.

Der Test d2 enthält geschlechts-, altersgruppen- und schulspezifische Normen für den Altersbereich von 9 bis 20 Jahren (N = 3132) sowie Normen für Erwachsene von 19 bis 59 Jahren (N = 3000).

Neue Reliabilitätsschätzungen (Cronbachs Alpha, Split-Half), die auf der Eichstichprobe (N= 3.236) basieren, variieren für alle Testwerte zwischen $\alpha = .95$ und $\alpha = .98$. Darüber hinaus liegen zufriedenstellende Ergebnisse weiterer Zuverlässigkeitskontrollen vor, die auch den Aspekt der Messwertstabilität über lange Zeiträume (bis zu 23 Monaten) berücksichtigen (Brickenkamp, 2002).

Kritisch anzumerken ist, dass der Test nur kurzzeitige Konzentrationsleistungen misst. Es wird die konzentrierte (fokussierende) Aufmerksamkeit, aber nicht die distributive Aufmerksamkeit erfasst. In den GZ-F-Wert geht die zuverlässiger erfassbare Quantität stärker ein als die weniger zuverlässig erfassbare Qualität. Der GZ-F kann nicht als verfälschungsresistent gelten. Der KL zeigt Verfälschungsresistenz und eine höhere differentialdiagnostische Leistungsfähigkeit bei hoher Reliabilität. Die hohe "Speed"-Komponente und die ungewohnte Testsituation können auf die Probanden belastend wirken.

7.4.1.3 Working Memory Test

Die Testung von Gedächtnisspannen ist traditioneller Bestandteil der Analyse des Kurzzeitgedächtnisses. Mit ihrer Hilfe können Angaben zur Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses gemacht werden. Diese soll Hinweise auf die Menge der Informationen liefern, die eine Person kurzfristig speichern und damit im Überblick behalten kann (Schuri, 1988).

Der Test Zahlenspanne (*Counting Span*) wurde von Case et al. (1982) entwickelt und ist eine Operationalisierung von "simultane Speicherung und Verarbeiten". Für die vorliegenden Experimente wurde eine modifizierte Computerversion von Engle, Tuholski, Lauglin und Conway (1999) verwendet.

Die Versuchspersonen saßen vor einem Computermonitor und sahen dunkelblaue Kreise und Quadrate sowie rote Kreise. Letztgenannte dienten als Distraktoren. Es folgte die Aufforderung nur die blauen Kreise laut zu zählen und am Ende die Gesamtzahl zu wiederholen. Dann wurde die Leertaste betätigt und auf dem Monitor erschien ein neues Bild. Nach einigen Bildern erschien die Aufforderung „WIEDERHOLE“ auf dem Bildschirm. Danach sollten die Versuchspersonen die Zahlen der blauen Kreise, die sie in den vorherigen Bildern gesehen hatten, auf einem Antwortblatt in der richtigen Reihenfolge

wiedergeben. Die Anzahl von Zahlen, die sich die Versuchspersonen merken mussten, variierte zwischen zwei und fünf Zahlen.

Als richtige Antworten wurden nur jene gewertet, in denen alle Zahlen in der korrekten Reihenfolge aufgeschrieben wurden. Die Counting Span wird unterteilt in eine Low Span (≤ 19) und in eine High Span (≥ 37).

7.4.2 Leistungsdaten

Von jedem Trial wurde die Reaktionszeit aufgezeichnet. Als Reaktionszeit ist die Zeit zwischen der Stimulusdarbietung und dem Tastendruck definiert. Zusätzlich wurden von jedem Trial detaillierte Informationen über den jeweils dargebotenen Reiz sowie die stattgefundenene Reaktion (Richtigkeit der Reaktion, Reaktionsseite) gespeichert.

7.4.3 Ableitung der bioelektrischen Hirnaktivität

Die Ag/AgCl-Elektroden wurden an den 64 Positionen des 10-20 Systems (Jasper, 1958) mit einer Elektrodenhaube (ELECTRO-CAP) der Firma ECI auf der Kopfhaut befestigt. Zur Verringerung des Übergangswiderstandes wurde Elektrodengel verwendet.

Zur Erfassung der Augenbewegungen wurden zusätzlich links und rechts Ag/AgCl-Elektroden an den äußeren Augenkanti, sowie infra- und supraorbital am linken Auge fixiert. Mit Hilfe dieser Kanäle wurde das vertikale und horizontale EOG erfasst. Es wurde darauf geachtet, dass die Elektrodenübergangswiderstände unter 10 k Ω , in der Regel unter 5 k Ω , lagen.

Alle 64 Elektroden wurden gegen die Vertexelektrode (Cz) als Referenz abgeleitet. Zur späteren Rereferenzierung wurde die Aktivität von A1 und A2 gemessen. Die Elektrodenpositionierung ist in Abbildung 9 dargestellt.

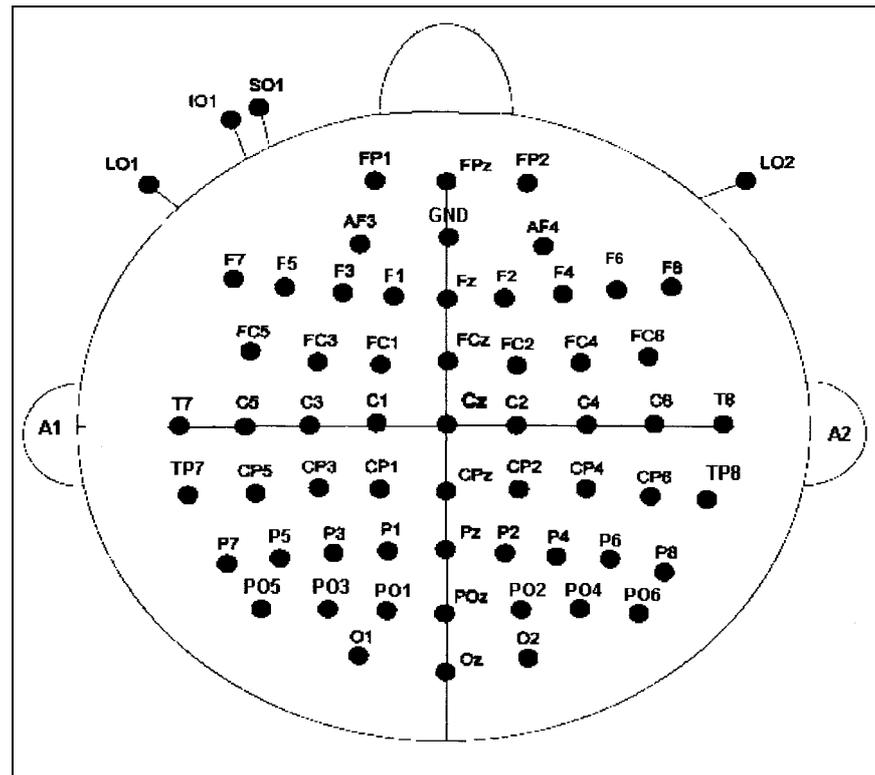


Abbildung 9: Positionierung der Elektroden bei einer 64-kanaligen Ableitung

Die mit Hilfe von zwei 32-Kanal Synamps-Verstärkern (Neuroscan) erfassten Biosignale wurden mit 200 Hz digitalisiert (16Bit). Speicherung, Reaktionszeitmessung und Versuchssteuerung (Reizdarbietung, Online-Darstellung des EEG und Steuerung des Synamps-Verstärker) erfolgte mittels eines Prozessrechners (Brain Vision Reader). EEG und EOG wurden mit einem Abtastintervall von 5 ms digitalisiert. Um Effekte der Elektrodendrift zu eliminieren, wurden die Biosignaldaten vor der weiteren Aufbereitung und Auswertung mit einem phasentreuen Hochpass von .05 Hz gefiltert.

Es erfolgte eine kontinuierliche Aufzeichnung des EEGs während des gesamten Versuchs. Die einzelnen Bedingungen sowie das Auftreten des Hinweisreizes und der Reaktionen im Experiment wurden mittels unterschiedlicher Trigger festgehalten. Die Erfassung der Leistungsparameter, der Reaktionszeiten und der Fehler erfolgte parallel dazu über PC.

7.5 Datenanalyse und -auswertung

Aufgrund fehlender Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich der Fragebogendaten und der Reaktionszeiten, berechnet mit dem Mann-Whitney-Test, wurden die Daten für Männer und Frauen gemeinsam betrachtet.

7.5.1 Leistungsdaten

In die Analyse der Reaktionszeiten gingen nur die richtigen Antworten ein. Falsche Reaktionen und nicht zeitgerecht absolvierte Aufgaben (Missings) wurden hier nicht berücksichtigt. Reaktionszeiten unter 200 ms und über 2000 ms wurden verworfen. Des Weiteren erfolgte eine separate Auswertung der Fehler und der Missings der Probanden.

7.5.2 Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)

Die Aufbereitung der EEG-Daten erfolgte mit Hilfe von BESA 2000 (Brain Electric Source Analysis) und dem Vision Analyzer (Brain Products GmbH).

Zur Bestimmung der ereigniskorrelierten Potentiale wurden die artefaktfreien EEG-Abschnitte der Stimuluspositionen über die Blöcke gemittelt. Wenn notwendig, wurde eine Augenartefaktkorrektur nach Gratton, Coles und Donchin (1983) durchgeführt. Die Korrektur erfolgte, indem die Spannungsschwankungen der Augenkanäle mit einem signalabhängigen Korrekturfaktor multipliziert wurden und von den jeweiligen Signalen abgezogen wurden. Bei einer Überschreitung der Grenze von 50 μV wurden die jeweiligen Epochen verworfen.

Es wurden für jeden Probanden die CNV und P300 ermittelt. In die Auswertung wurden die Elektroden der Mittellinie (Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz, Poz, Oz) und die Elektroden der Hirnregionen (Präfrontal, Frontal, Temporal, Zentral, Parietal, Okzipital, Temporo-parietal) aufgenommen. Die Mittelung (Averaging) erfolgte über die Elektroden.

In allen statistischen Analysen wurde die akzeptierte Irrtumswahrscheinlichkeit auf $\alpha = .05$ festgelegt. Für jede abhängige EKP-Variable wurden Varianzanalysen gerechnet. Bei allen Analysen, die messwiederholte Faktoren beinhalten, wurden die Freiheitsgrade nach Huynh-Feldt korrigiert, um die Verletzung der Zirkularität zu berücksichtigen.

Die Werte wurden in SPSS 10.0 (Statistical Package for the Social Sciences) eingelesen, gemittelt und der weiteren Analyse unterzogen. Außerdem erfolgte eine Referenzberechnung gegen A1A2, indem die Differenz des Mittelwertes von A1A2 mit allen anderen Elektroden gebildet wurde.

7.5.2.1 Auswertung der Daten für die P300

Die Daten für die Auswertung der P300 wurden in drei Kategorien eingeteilt. So wurde nach *Zeitdruck* (Zeitdruck vs. kein Zeitdruck), *Wechsel* (Switch vs. Repeat) und *Vergleich* (numerischer bzw. Schriftgrößenvergleich) untergliedert.

Die Daten wurden mit einem Hochpassfilter von 0.1 Hz und einem Tiefpassfilter von 15 Hz mit 6 dB gefiltert. Es wurden Segmente von -100 ms vor dem Stimulus bis 900 ms nach dem Stimulus extrahiert.

Die P300 Amplitude wurde als maximal positive Auslenkung im Zeitintervall von 300 bis 600 ms nach der Stimulusdarbietung definiert. Zum Zeitpunkt des maximalen Amplitudenwertes der P300 wurde individuell für jede Versuchsperson die Gipfellatenz bestimmt. Es wurden die Werte -25 ms vor und 25 ms nach der Gipfellatenz als mittlere Amplitude in die Auswertung einbezogen.

Auch hier wurden die Elektroden zur Erfassung der Augenbewegung von den Berechnungen ausgeschlossen und eine Referenzberechnung gegen A1A2, wie oben berichtet, vorgenommen.

Neben den EKP-Parametern wurden die Reaktionszeiten und die Anzahl der Fehler statistisch ausgewertet.

7.5.2.2 Auswertung der Daten für die CNV

Für die Auswertung wurden die Daten in verschiedene Gruppen unterteilt. Am Anfang erfolgten allgemeine Auswertungen nach Zeitdruck, Wechsel des Aufgabensets oder Vergleich, danach wurden diese Bedingungen kombiniert ausgewertet. Es ergeben sich insgesamt folgende sieben Bedingungsvariationen:

- Zeitdruck (Zeitdruck vs. kein Zeitdruck),
- Wechsel (Switch vs. Repeat),
- Vergleich (numerischer Vergleich vs. Größenvergleich),
- Zeitdruck x Wechsel,
- Zeitdruck x Vergleich,
- Wechsel x Vergleich,
- Zeitdruck x Wechsel x Vergleich.

Es gingen nur die Daten in die Auswertung ein, bei denen pro Bedingung mindestens 10 artefaktfreie Messstrecken zur Verfügung standen. Die Daten wurden mit einem Hochpassfilter von 0.01 Hz und einem Tiefpassfilter von 15 Hz mit 6 dB gefiltert. Extrahiert wurden Segmente von -1950 ms vor dem Stimulus bis 150 ms nach dem Stimulus.

Für die weitere Datenauswertung erfolgte die Mittelung über das Zeitfenster von -100 ms bis 0 ms.

8 Ergebnisdarstellung

8.1 Reaktionszeiten

In die Analyse der Reaktionszeiten gingen die richtigen Reaktionen im Zeitbereich von 200 ms bis 2000 ms nach Reizdarbietung ein. Als Fehler wurden die falschen Antworten in Beziehung zu den richtigen Reaktionen in die Auswertung einbezogen. Die Missings, d.h. die nicht zeitgerecht absolvierten Antworten, sind bei der Berechnung der Reaktionszeiten nicht berücksichtigt worden, da sie keine Reaktionszeiten repräsentieren. Sie sind separat ausgewertet worden.

Die Resultate bezüglich der mittleren Reaktionszeiten und falschen Antworten für die einzelnen Bedingungen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Mittelwerte der Reaktionszeiten in ms und Fehler in % (Standardabweichung in Klammern)

Art der Aufgabe	Trial Typ	RT (ms) alt	RT (ms) jung	Fehler (%) alt	Fehler (%) jung
Gesamt	switch	508 (112)	450 (109)	13,40 (10,27)	13,21 (6,6)
	repeat	507 (120)	449 (123)	13,73 (10,25)	13,47 (6,17)
	Kosten	1	1	-0,33	-0,26
Zeitdruck	switch	450 (98)	329 (67)	6,43 (5,93)	8,15 (7,46)
	repeat	424 (96)	324 (67)	7,03 (5,64)	7,89 (4,67)
	Kosten	26	5	-0,60	0,26
kein Zeitdruck	switch	513 (138)	487 (133)	7,02 (4,78)	5,78 (3,04)
	repeat	539 (130)	492 (147)	7,03 (4,67)	5,91 (3,12)
	Kosten	-26	-5	-0,01	-0,13
Numerischer Vergleich	switch	519 (99)	474 (115)	14,52 (5,95)	15,30 (4,42)
	repeat	525 (111)	476 (133)	15,24 (6,64)	15,18 (3,70)
	Kosten	-6	-2	-0,72	0,12
Größenvergleich	switch	497 (128)	416 (129)	12,29 (5,08)	11,13 (4,18)
	repeat	490 (132)	425 (118)	12,22 (4,21)	11,76 (3,31)
	Kosten	7	-9	0,07	-0,63

Die Überprüfung der Hypothese, ob ältere Probanden längere Reaktionszeiten und höhere Wechselkosten aufweisen, erbrachte folgende Ergebnisse:

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass lokale Wechselkosten für jüngere und ältere Probanden gering bzw. gar nicht zu finden waren, wenn die einzelnen Bedingungen betrachtet wurden. Es zeigten sich teilweise inverse Wechselkosten.

Das gleiche Bild ergab sich, wenn die sechs Blöcke des Experiments in zwei Abschnitte zusammengefasst wurden. Weder im ersten noch im zweiten Abschnitt waren Unterschiede zu den oben genannten lokalen Wechselkosten zu finden. Eine Auswertung in dieser Richtung hätte demnach keine zusätzlichen Aussagen erbracht. Aus diesem Grunde sind in die weiteren Berechnungen alle Blöcke geschlossen einbezogen worden.

Ein signifikanter Altersunterschied mit längeren Reaktionszeiten zeigte sich für die älteren Probanden, $F(1, 43) = 5,271$; $p < .05$. Dieser Effekt ist in Abbildung 10 graphisch dargestellt.

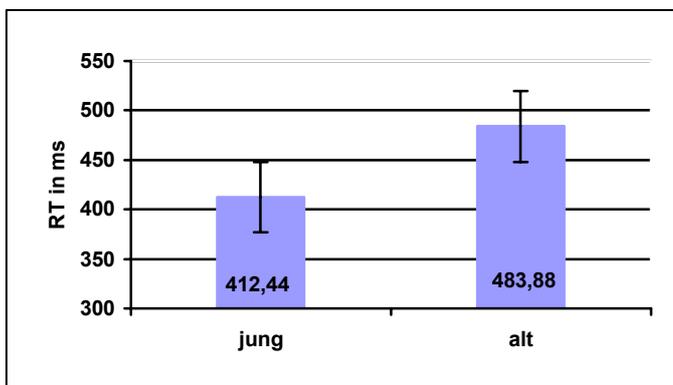


Abbildung 10: mittlere Reaktionszeiten (RT) mit Standardfehler getrennt nach jüngeren und älteren Versuchspersonen

In der Bedingung ohne Zeitdruck waren höhere Reaktionszeiten unabhängig vom Wechsel und vom Vergleich vorhanden. Die Reaktionszeiten waren im numerischen Vergleich im Mittel 43 ms länger als im Größenvergleich.

Der Aufgabenwechsel drückte sich nicht in den Reaktionszeitänderungen aus. Für ZEITDRUCK, $F(1, 43) = 129,27$; $p < .01$, hingegen waren statistisch signifikante Reaktionen mit längeren Reaktionszeiten für die Bedingung kein Zeitdruck und für VERGLEICH, $F(1, 43) = 49,811$; $p < .01$, mit höheren Reaktionszeiten für den numerischen Vergleich, nachweisbar. Des weiteren ergab sich eine Interaktion WECHSEL x ZEITDRUCK x VERGLEICH, $F(1, 43) = 6,798$; $p < .05$, die in Abbildung 11 graphisch dargestellt ist.

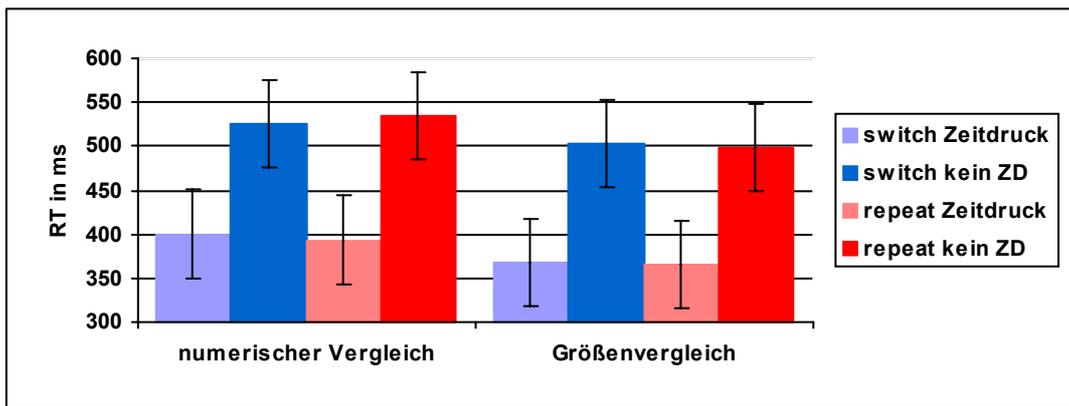


Abbildung 11: mittlere Reaktionszeiten mit Standardfehler für beide Altersgruppen in den Bedingungen: switch Zeitdruck, switch kein ZD, repeat Zeitdruck sowie repeat kein ZD; ZD= kein Zeitdruck

Die Abbildung 12 stellt die Reaktionszeiten im sogenannten State Space in der Wechselbedingung als eine Funktion der Leistung in der korrespondierenden Baseline-Bedingung (Wiederholung) dar. Die daraus resultierenden Punktwerte sind die State Traces (nach Kliegl, Mayr & Krampe, 1994).

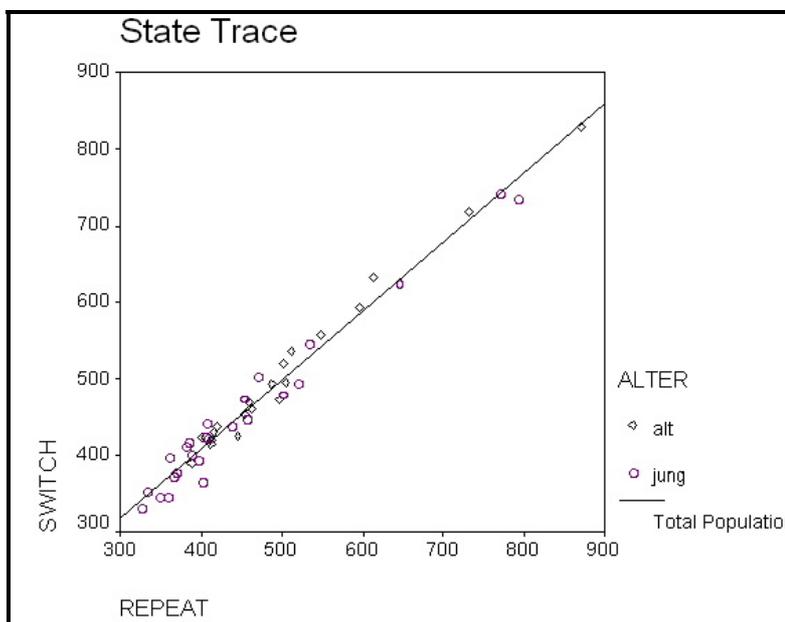


Abbildung 12: State Traces für die Bedingung Wechsel in ms getrennt für die beiden Altersgruppen

Die Daten der einzelnen Probanden wiesen in den Reaktionszeiten keine Unterschiede zwischen Wechsel und Wiederholung auf. Die interindividuelle Variabilität in den Reaktionszeiten wird in dieser Darstellung jedoch gut sichtbar.

Folgende Befunde erwiesen sich als hypothesenkonform. Es traten Altersunterschiede in den Reaktionszeiten auf. Die Versuchspersonen wiesen für die Bedingung ZEITDRUCK kürzere Reaktionszeiten auf und es fanden sich längere Reaktionszeiten für den numerischen Vergleich im Gegensatz zum Größenvergleich. Dagegen konnten die Resultate in Bezug auf Variable WECHSEL die Hypothese nicht bestätigen.

8.1.1 Fehler

Die Analyse der Fehler (hier falsche Antworten) zeigte, dass von den Probanden, unabhängig vom Alter, wenig Fehler gemacht wurden (siehe Tabelle 3). Ältere Erwachsene wiesen somit keine höheren Fehlerraten auf als jüngere Erwachsene. Die Anzahl der Fehler unterschied sich allerdings in den einzelnen Bedingungen voneinander. Innerhalb der Bedingungen WECHSEL und ZEITDRUCK konnten keine Unterschiede gefunden werden. In der Bedingung numerischer Vergleich war die Fehleranzahl höher als beim Größenvergleich, $F(1, 43) = 10,064$; $p < .01$. Eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen VERGLEICH und ZEITDRUCK machte deutlich, dass beim numerischen Vergleich unter Zeitdruck die höchste Anzahl an falschen Antworten auftrat, $F(1, 43) = 14,641$; $p < .01$ (Abbildung 13 A). Entgegen der Hypothese wurden unter Zeitdruck bei den Jüngeren mehr Fehler gemacht, während die älteren Probanden in der Bedingung ohne Zeitdruck eine höhere Fehleranzahl aufwiesen, $F(1, 43) = 4,628$; $p < .05$ (Abbildung 13 B).

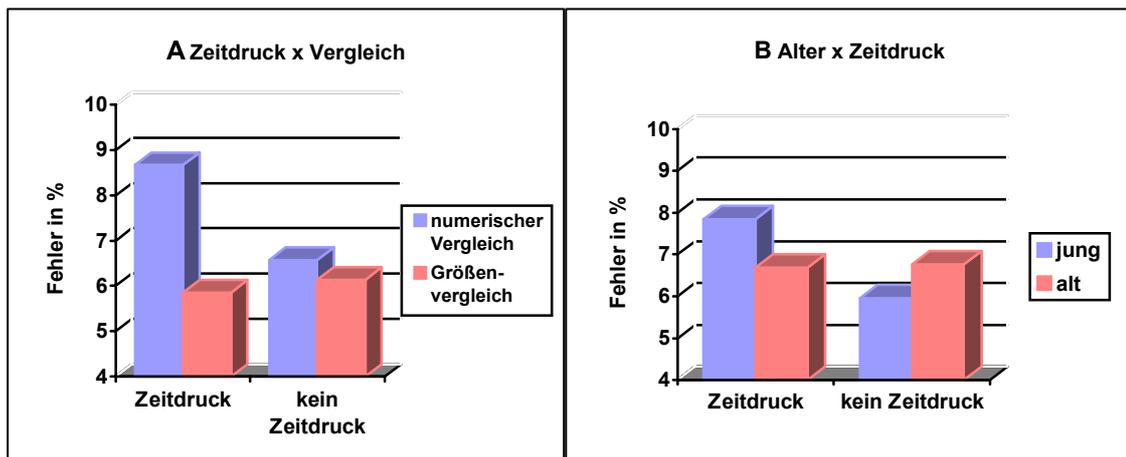


Abbildung 13: mittlere Fehleranzahl getrennt für Bedingungen mit und ohne Zeitdruck für die beiden Vergleichsaufgaben (A) und über die beiden Altersgruppen (B)

8.1.2 Missings

Die separate Analyse der Missings (hier nicht zeitgerecht absolvierte Aufgaben) zeigte für die Gruppe der älteren Versuchspersonen mit insgesamt 32,1% Missings sowie für die Gruppe der Jüngeren mit 31,1% Missings keine Differenzen zwischen jung und alt. Die Anzahl der Missings unterschied sich jedoch in den einzelnen Bedingungen voneinander (Tabelle 4).

Tabelle 4: Anteil der Missings (in %) unterteilt nach den sechs Bedingungen

	Jung (in %)	Alt (in %)
Switch	16,2	16,4
Repeat	14,8	15,7
Zeitdruck	30,5	31,2
Kein Zeitdruck	0,5	0,9
Größenvergleich	16,9	17,1
Numerischer Vergleich	14,2	15

Die höchste Anzahl von Missings fand sich erwartungsgemäß in der Bedingung mit Zeitdruck über beide Altersgruppen hinweg.

In der Gruppe der Jüngeren unterschieden sich alle drei Bedingungen: ZEITDRUCK mit einer größeren Anzahl von Missings unter Zeitdruck, $t = -3,7847$, $p < .01$ (jeweils Bonferroni korrigiert), WECHSEL mit mehr Missings für den Aufgabenwechsel, $t = 98,779$, $p < .01$ und VERGLEICH, in dem beim Größenvergleich mehr Missings auftraten, $t = -7,608$, $p < .01$, voneinander (siehe Tabelle 4). Bei den Älteren waren signifikante Unterschiede für ZEITDRUCK, $t = 87,455$, $p < .01$ und VERGLEICH, $t = -5,315$, $p < .01$, jedoch nicht für den WECHSEL zu finden.

8.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Nachfolgend werden die Resultate der statistischen Analysen der verschiedenen EKP-Parameter dargestellt, die zur Prüfung der in dieser Arbeit untersuchten Hypothesen herangezogen wurden. In der Auswertung wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Alter gerechnet. Die Anpassung des Konfidenzintervalls wurde nach Bonferroni durchgeführt.

In die einzelnen Berechnungen wurden zum einen acht Ableitpunkte (Elektroden) der Mittellinie (FPz, Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz) und zum anderen die Regionen

präfrontal, frontal, temporal, zentral, parietal, okzipital, temporoparietal jeweils für die rechte und linke Hemisphäre getrennt einbezogen, wie in Abbildung 9 im Methodenteil dargestellt. Diese werden im weiteren als Variablen ELEKTRODE und REGION bezeichnet.

Waren weniger als 10 Trials pro Bedingung für die Mittelung (Averaging) vorhanden oder gab es Artefakte, wurden diese nicht in die Untersuchung einbezogen. Deshalb sind in den einzelnen Analysen die Anzahl der berücksichtigten Probanden unterschiedlich. Es wird zuerst auf die mittleren Amplituden bezüglich des Hinweisreizes und des Stimulus eingegangen. Danach werden die Ergebnisse der CNV-Daten dargestellt.

8.2.1 Mittlere Amplituden im Zeitbereich von 300 – 700 ms

Die mittleren Amplitudenwerte bezüglich des Hinweisreizes sind in drei Zeitbereiche, 300-400 ms, 400-500 ms und 500-700 ms nach dem Erscheinen des Hinweisreizes, unterteilt worden. Diese drei Bereiche werden nachfolgend mit 1, 2 und 3 bezeichnet. Um fundierte Auswertungen zu ermöglichen sind nur die Daten in die Auswertung eingegangen, bei denen pro Bedingung mindestens 10 artefaktfreie Messstrecken zur Verfügung standen. Das Grand Mean in Abbildung 14 zeigt den gesamten Verlauf von der Präsentation des Hinweisreizes bis 1000 ms nach Stimulusdarbietung.

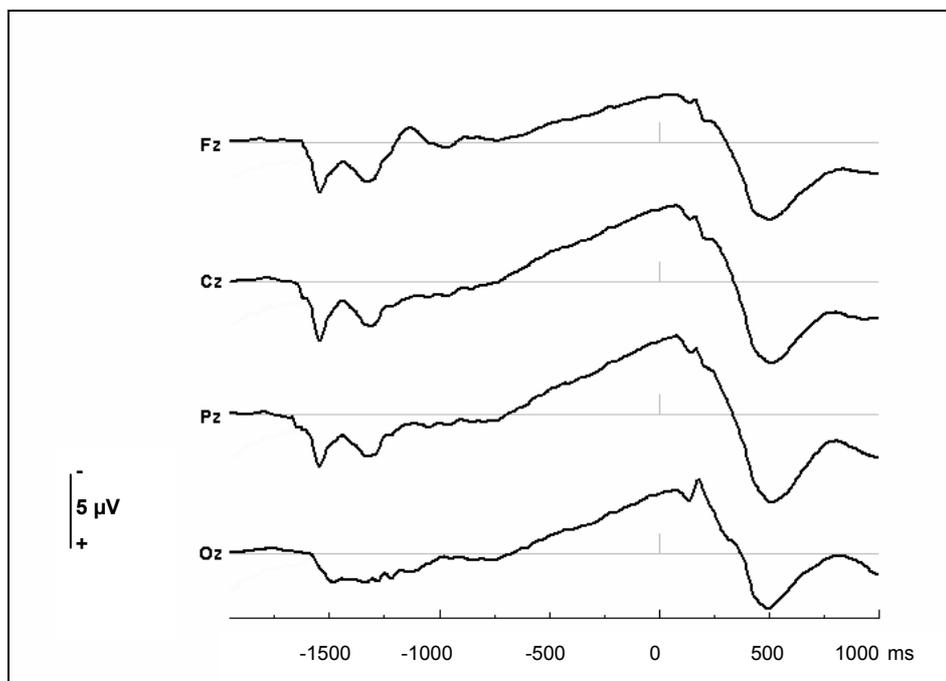


Abbildung 14: Grand Mean im Verlauf ab Präsentation des Hinweisreizes bis 1000 ms nach Erscheinen des Stimulus

In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die signifikanten Haupteffekte und Wechselwirkungen in Bezug auf die Elektroden und die Regionen dargestellt, die in allen drei Zeitbereichen signifikante Ergebnisse zeigten. Die weiteren Haupteffekte und Interaktionen sind im Anhang H dargestellt.

Tabelle 5: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x ELEKTRODE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)

	Zeitbereich 1	Zeitbereich 2	Zeitbereich 3
Elektrode	34,493 (<.01)	18,571 (<.01)	2,743 (<.05)
Elektrode x Vergleich	8,887 (<.05)	3,773 (<.01)	4,041 (<.01)
Elektrode x Alter	10,374 (<.01)	9,740 (<.01)	4,457 (<.01)

Tabelle 6: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)

	Zeitbereich 1	Zeitbereich 2	Zeitbereich 3
Region	49,363 (<.01)	23,477 (<.01)	3,203 (≤ .01)
Hemisphäre	8,397 (<.01)	6,281 (<.05)	4,766 (<.05)
Region x Hemisphäre	4,583 (<.01)	4,367 (<.01)	4,460 (<.01)
Region x Vergleich	19,710 (<.01)	10,472 (<.01)	5,631 (<.01)
Region x Alter	13,412 (<.01)	12,238 (<.01)	5,789 (<.01)

Für die Variablen ELEKTRODE bzw. REGION zeigten sich über alle Zeitbereiche erwartungsgemäß signifikante Haupteffekte. Die Variablen WECHSEL, ZEITDRUCK und VERGLEICH dagegen wiesen lediglich in einzelnen Zeitbereichen Haupteffekte auf (siehe Anhang H). Bei Aufgabenwiederholung trat für den zweiten Zeitbereich der Untersuchung der Elektroden eine Negativierung im Gegensatz zum Aufgabenwechsel auf. Ein reliabler Effekt für ZEITDRUCK fand sich im Zeitbereich 3 in der Analyse für die Regionen mit jedoch negativeren Amplituden für die Zeitdruckbedingung (siehe Anhang H). In beiden Analysebedingungen für den Zeitbereich 2 sowie Zeitbereich 3 wurden negativere Amplituden für den numerischen Vergleich evoziert.

Es ergaben sich weiterhin signifikante Interaktionen für ELEKTRODE x ALTER mit höheren Amplituden für die jüngeren Probanden an den parietalen, zentralen und okzipitalen Elektroden sowie mit höheren Amplituden an den frontalen Elektroden im ersten Zeitbereich für die älteren Probanden. In den anderen beiden Zeitbereichen wiesen die jüngeren Probanden erwartungsgemäß häufig negativere Amplituden auf

als die Älteren. In Abbildung 15 sind die Interaktionen von ELEKTRODE mit dem Alter über die Zeit dargestellt.

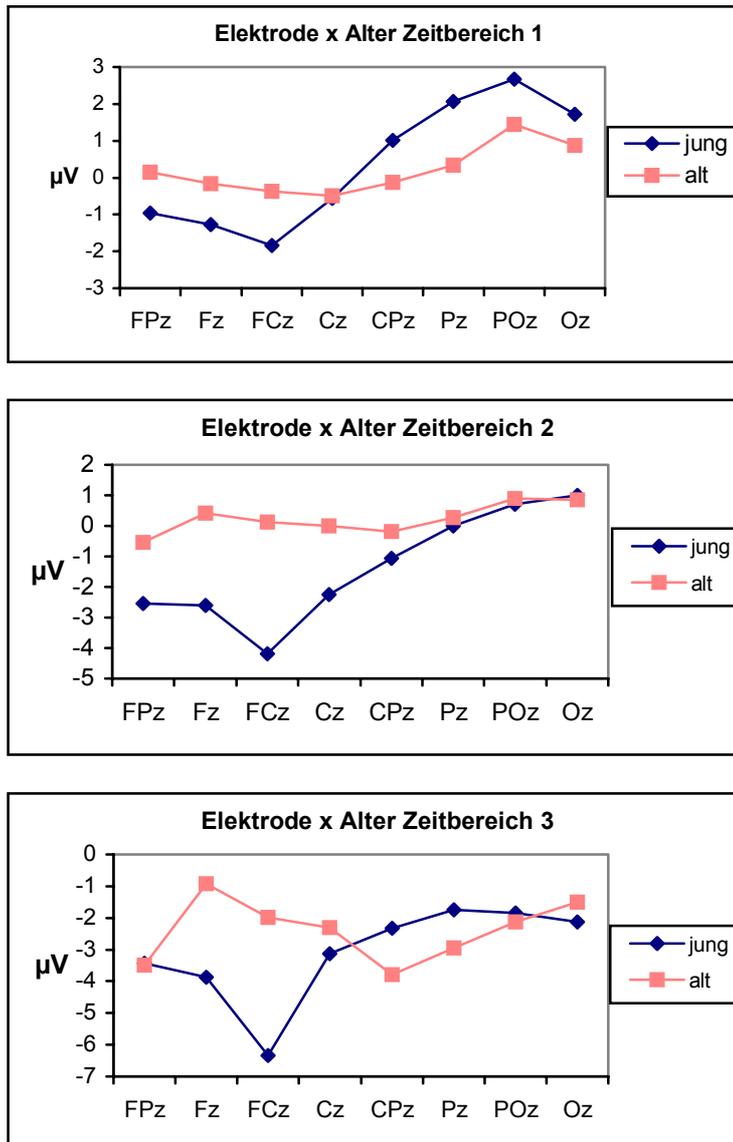


Abbildung 15: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Altersgruppen und Zeitbereichen

Die Grand Mean auf den Hinweisreiz sind in Abbildung 16 zu sehen.

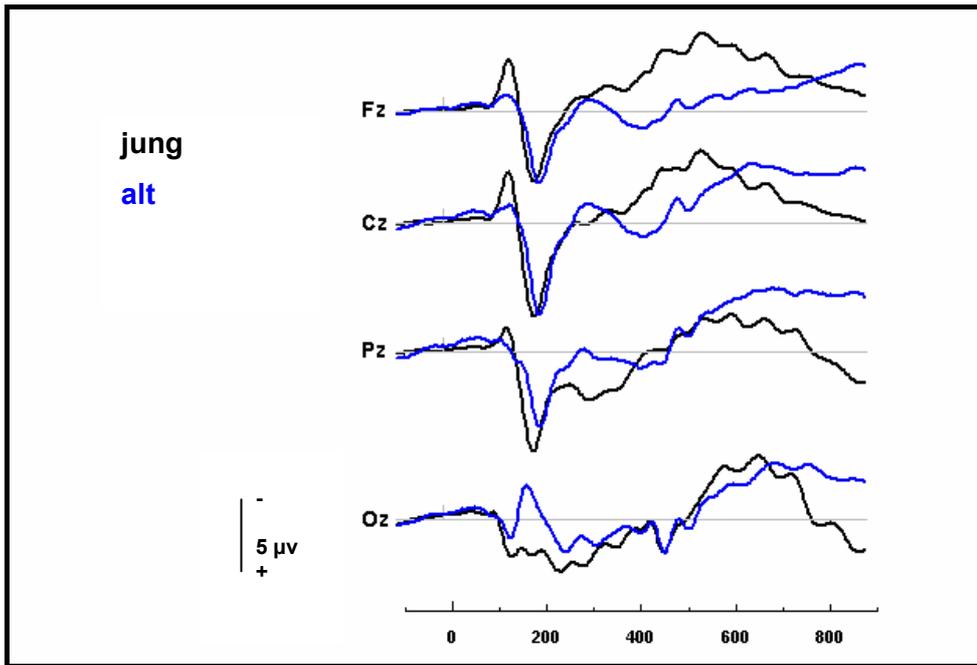
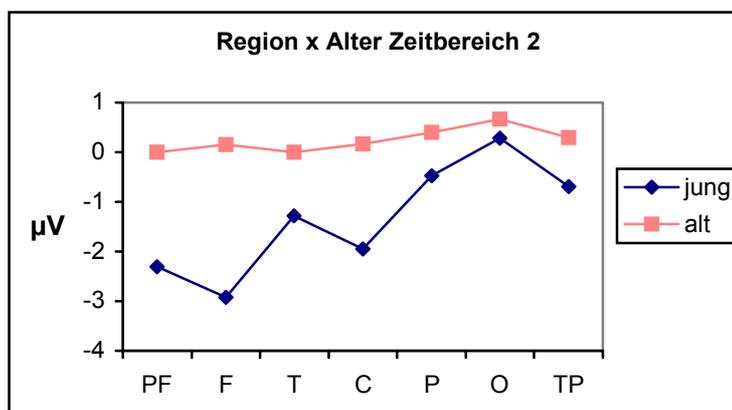
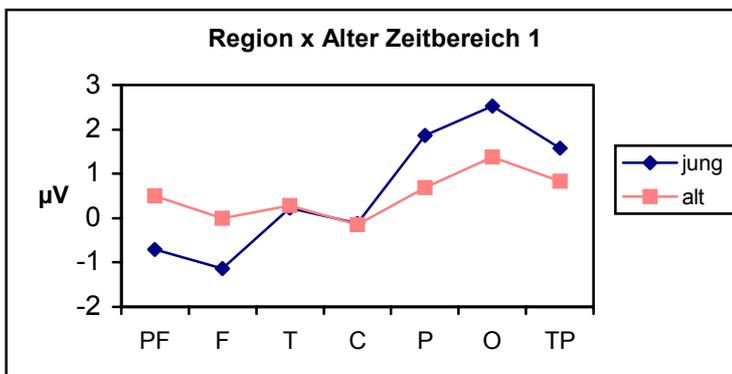


Abbildung 16: Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz getrennt nach den Altersgruppen

In beiden Altersgruppen kommt es zu einer Negativierung über die Zeit, welche bei den jüngeren Probanden stärker ausgeprägt ist. Ein ähnliches Bild zeigt die Betrachtung der Interaktionen von REGION mit dem Alter, die in Abbildung 17 dargestellt sind.



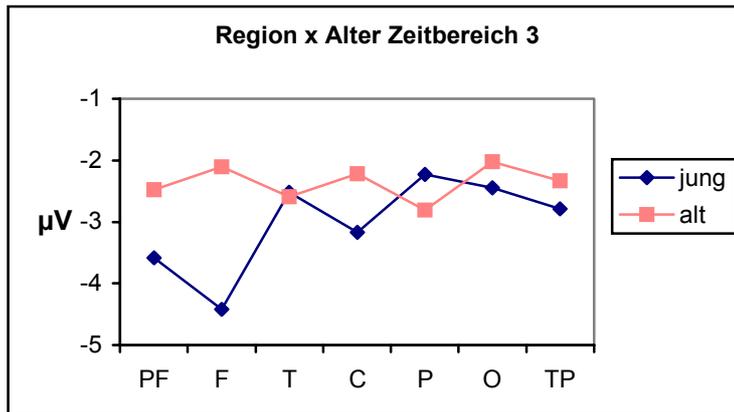


Abbildung 17: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Altersgruppen und Zeitbereichen

In den ersten beiden Zeitbereichen wird deutlich, dass Jüngere im Vergleich zu den Älteren anscheinend selektiv reagierten. Die älteren Probanden wiesen nur geringe Differenzen über die Zeit auf. Im dritten Zeitbereich dagegen waren über die Elektroden die Differenzen für die älteren Probanden im Vergleich zu Zeitbereich 1 und 2 größer, während sich dies im Vergleich über die Regionen nicht so darstellte. Die Entwicklung einer Negativierung im Sinne einer CNV ist über die Zeit erkennbar.

Der Haupteffekt von ELEKTRODE wurde qualifiziert durch die signifikante Interaktion mit WECHSEL mit höheren Amplituden für Switch, der im zweiten Zeitbereich statistisch bedeutsam wurde, $F(7, 35) = 4,654$; $\epsilon = 41$; $p < .01$.

Die Betrachtung der Interaktion ELEKTRODE x ALTER x WECHSEL verdeutlicht ebenso die geringe Veränderung innerhalb der Gruppe der älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren Probanden (Abbildung 18). Im ersten und zweiten Zeitbereich waren die Differenzen zwischen Switch und Repeat bei den Älteren marginal. Im dritten Zeitbereich sind diese deutlicher ausgeprägt gewesen, $F(1,41) = 5,387$; $p < .05$. Die Gruppe der Jüngeren wies in allen drei Zeitbereichen höhere Amplituden in der Switch-Bedingung auf.

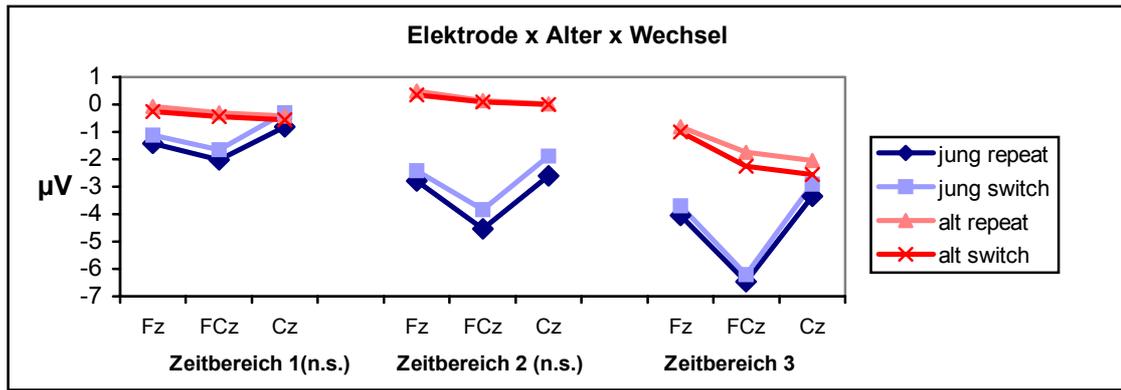


Abbildung 18: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Wechsel über die drei Zeitbereiche

Auch die Interaktionen REGION x ALTER x WECHSEL über die drei Zeitbereiche verdeutlichen die Altersunterschiede zwischen den beiden Gruppen und sind in Abbildung 19 dargestellt.

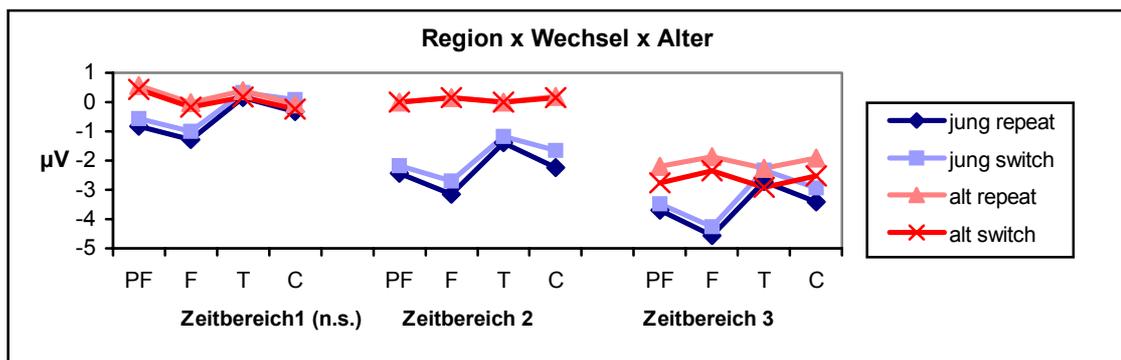


Abbildung 19: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Alter und Wechsel über die drei Zeitbereiche

In allen drei Zeitbereichen werden Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen deutlich. Die Unterschiede zwischen Switch und Repeat innerhalb der Gruppe der jüngeren Probanden konnten ebenfalls aufgezeigt werden. Bei den älteren Erwachsenen fanden sich in den ersten beiden Zeitbereichen keine Unterschiede zwischen Switch und Repeat.

Die Interaktionen ELEKTRODE x ZEITDRUCK x ALTER wiesen für die Älteren wiederum eine geringe Veränderung über die Zeit auf (Abbildung 20). Für die jüngeren Probanden fand sich erneut eine stetige Negativierung über die Zeit. Dabei evozierten die Zeitdruckbedingungen in der Gruppe der älteren Probanden eine stärkere

Positivierung im Vergleich zu den Bedingungen ohne Zeitdruck und bestätigten damit die Erwartungen.

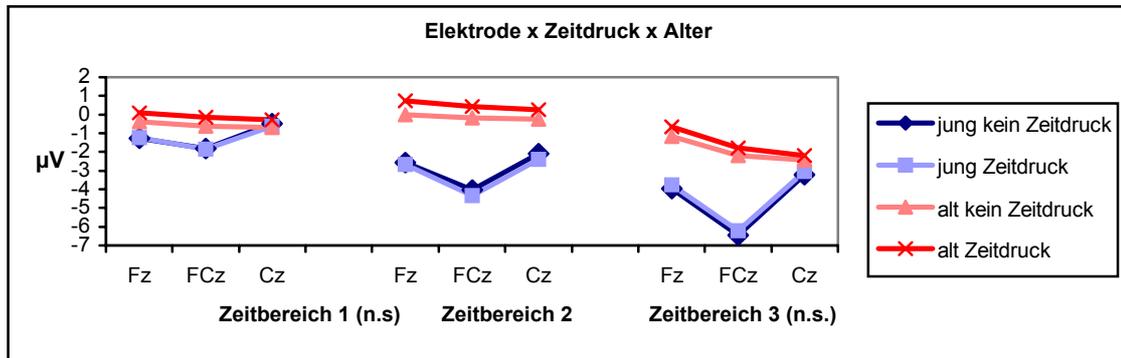


Abbildung 20: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Zeitdruck über die drei Zeitbereiche

Das Bild wird durch die Interaktionen REGION x ZEITDRUCK x ALTER über die Zeit bestätigt, wie in Abbildung 21 dargestellt. Bei den Älteren evozierten die Zeitdruckbedingungen hier ebenfalls eine stärkere Positivierung im Vergleich zu den Bedingungen ohne Zeitdruck, während sich dies bei den jüngeren Probanden im dritten Zeitbereich deutlich abzeichnete. Im Zeitbereich 2 zeigten sich signifikante Unterschiede für Jung und Alt in den Zeitdruckbedingungen, $F = (1,41) 5,461; p < .05$.

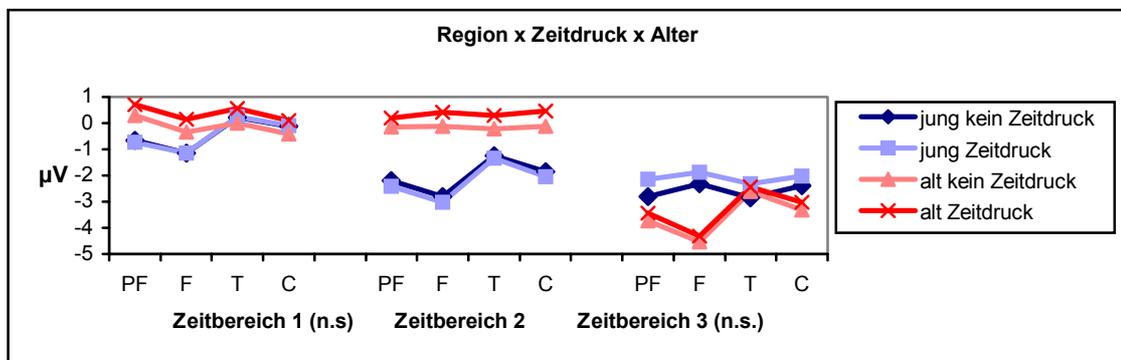


Abbildung 21: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Alter und Zeitdruck über die drei Zeitbereiche

In Abbildung 22 sind die Interaktionen ELEKTRODE x VERGLEICH für die drei Zeitbereiche dargestellt. Es zeigten sich über die Zeit größer werdende Differenzen zwischen dem numerischen und dem Größenvergleich sowie ein Wechsel der Amplitudenmittelwerte von Zeitbereich 1 mit höheren Amplituden für den numerischen Vergleich hin zu höheren Amplituden in den anderen beiden Zeitbereichen für den Größenvergleich. Dieses Bild bestätigte sich ebenfalls bei der Betrachtung der

Interaktion REGION x VERGLEICH über die drei Zeitbereiche, deren grafische Darstellung im Anhang H zu finden ist.

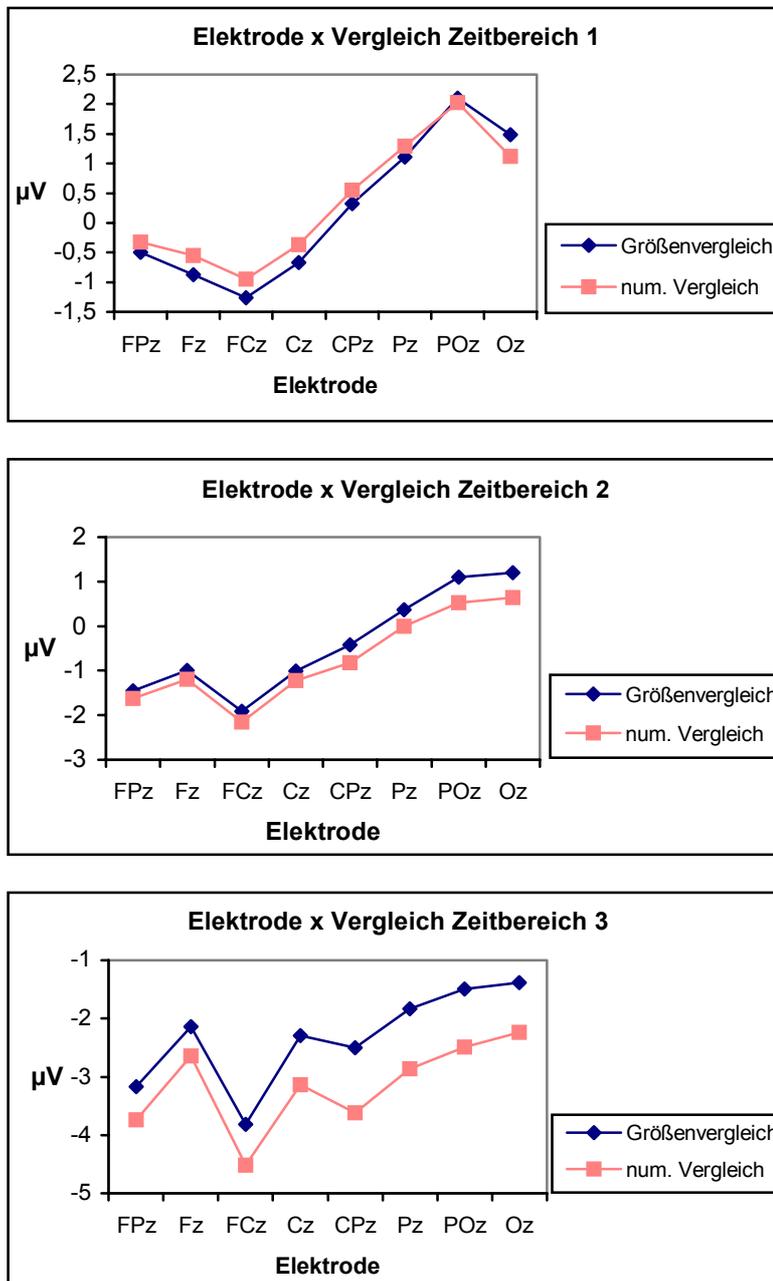


Abbildung 22: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Vergleich und Zeitbereichen

In Abbildung 23 sind die Interaktionen ELEKTRODE x ALTER x VERGLEICH die topografischen Amplitudenverteilungen für die drei Zeitbereiche aufgezeigt. Vom ersten zum zweiten Zeitbereich fanden sich für die älteren Probanden kaum Differenzen in den Amplituden. Im dritten Zeitbereich trat bei den Älteren eine verstärkte Negativierung auf. Die jüngeren Probanden wiesen dagegen über die gesamte Zeit eine

stetige Negativierung auf. Dabei erreichte die Interaktion im zweiten Zeitbereich, $F(7, 35) = 3,656$; $p \leq .01$ Signifikanz. Im numerischen Vergleich waren die Amplituden bei den älteren Probanden positiver als im Größenvergleich. Dagegen sind für die Jüngeren keine Unterschiede zwischen den Arten des Vergleichs erkennbar gewesen.

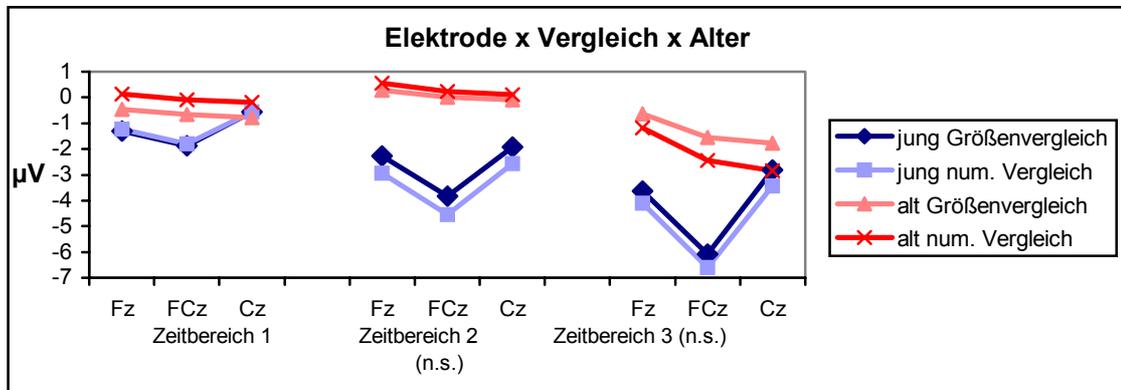


Abbildung 23: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Vergleich über die drei Zeitbereiche

Die topografischen Amplitudenverteilungen und Grand Mean sind für die jüngeren Probanden in Abbildung 24 und Abbildung 25 zu sehen.

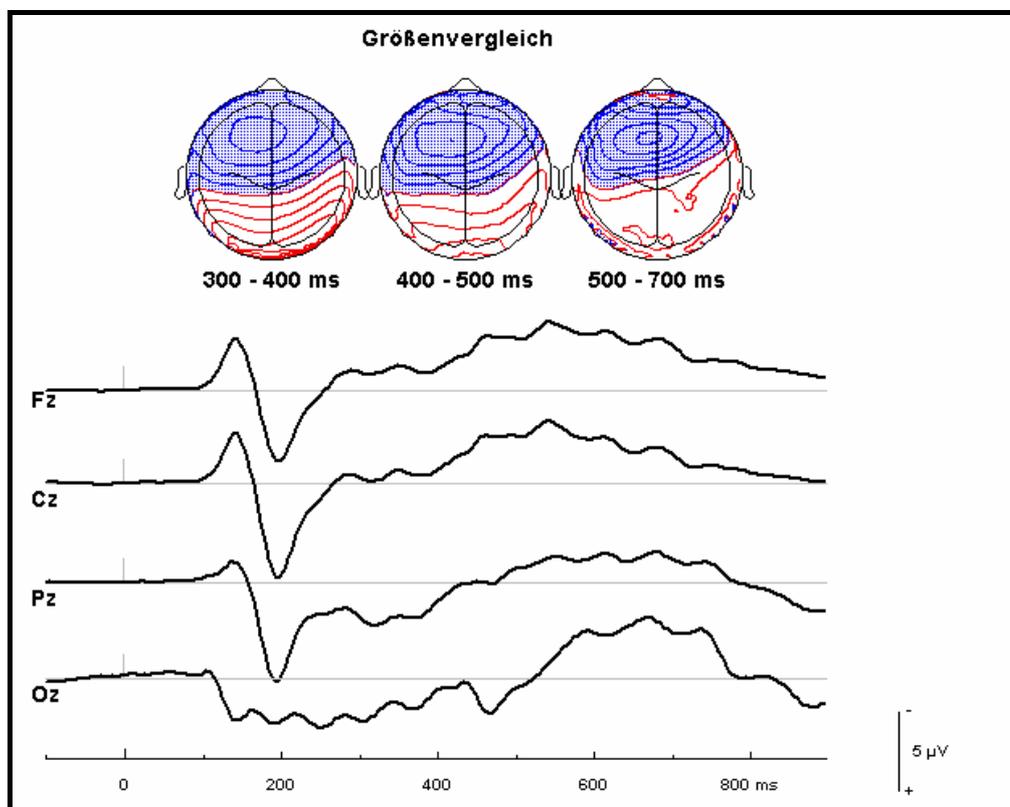


Abbildung 24: topografische Amplitudenverteilungen und Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz für den Größenvergleich der jüngeren Probanden

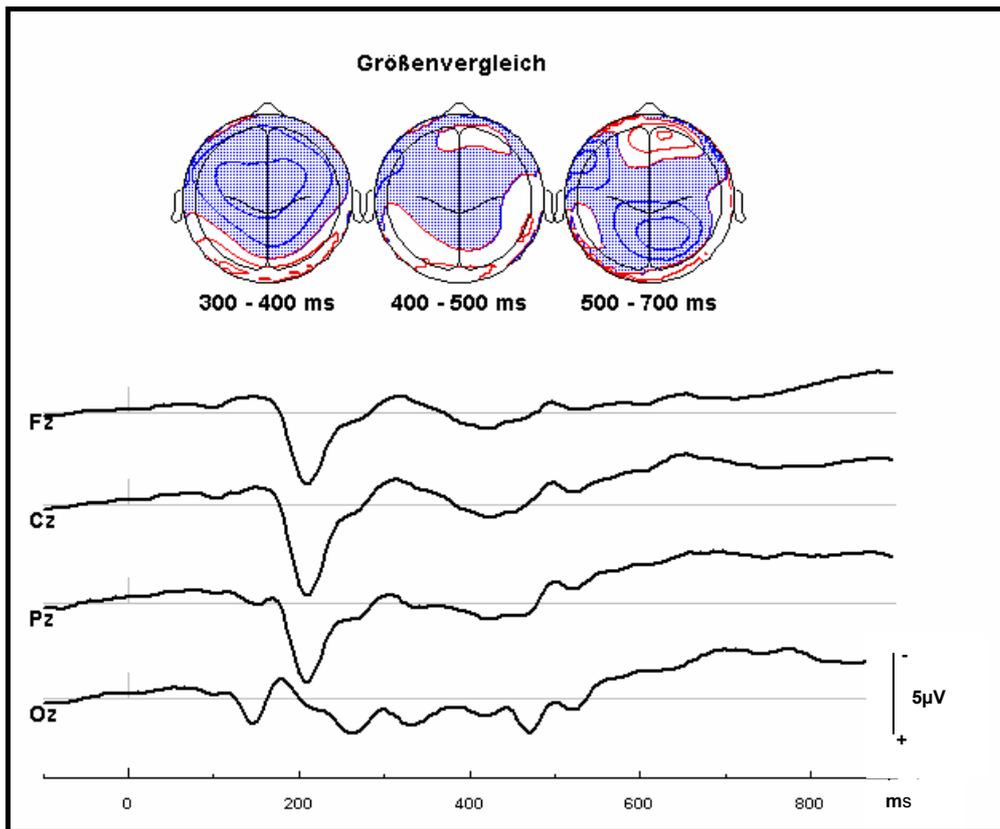


Abbildung 25: topografische Amplitudenverteilungen und Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz für den Größenvergleich der älteren Probanden

Ein ähnliches Bild fand sich in Abbildung 26 für die Interaktion REGION x VERGLEICH x ALTER. In den ersten beiden Zeitbereichen wurden bei den älteren Probanden ähnliche Amplituden evoziert. Jedoch wird lediglich der zweite Zeitbereich signifikant, $F(3,35) = 5,125$; $p < .01$. Im dritten Zeitbereich wurden negativere Amplituden evoziert. Eine Negativierung über die Zeit ist für die Jüngeren sichtbar geworden.

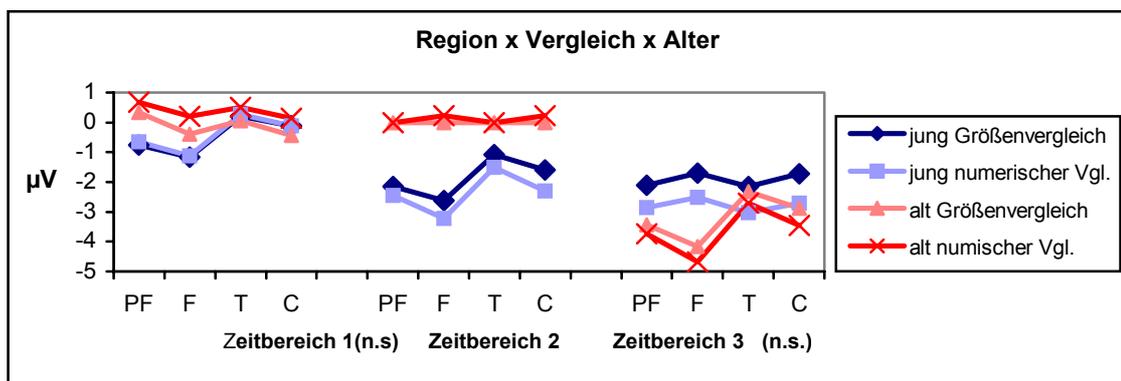


Abbildung 26: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Vergleich und Alter über die drei Zeitbereiche

Die Variable VERGLEICH zeigte für den zweiten Zeitbereich einen reliablen Effekt mit negativeren Amplituden für den numerischen Vergleich, $F(1, 41) = 8,337$; $p < .01$.

Im Zeitbereich 3 interagierte die Variable ELEKTRODE mit VERGLEICH, $F(7, 35) = 4,041$; $\epsilon = .45$; $p < .01$ und mit ALTER, $F(7, 35) = 4,457$; $p < .01$ sowie in dreifachen Interaktionen mit WECHSEL und VERGLEICH, $F(7, 35) = 5,110$; $\epsilon = .56$; $p < .01$, WECHSEL und ALTER, $F(7, 35) = 4,215$; $p < .01$ und in einer vierfachen Interaktion mit WECHSEL, VERGLEICH und ALTER, $F(7, 35) = 7,731$; $p < .01$. In der Interaktion REGION x WECHSEL x VERGLEICH x ALTER zeigten sich für den dritten Zeitbereich im Größenvergleich nur geringe Unterschiede zwischen Switch und Repeat für die jüngeren Probanden im Vergleich zu den Älteren im Gegensatz zum numerischen Vergleich, $F(5,35) = 2,909$; $p < .05$.

Eine zusätzliche Überprüfung der Hemisphären ergab für den ersten Zeitbereich signifikant höhere Amplituden für die rechte Hemisphäre, $F(1, 41) = 8,397$; $p < .01$ (siehe Abbildung 27) und Interaktionen von HEMISPHERE mit ZEITDRUCK, $F(1, 41) = 7,935$; $p < .01$, mit höheren Amplituden für die Zeitdruckbedingung sowie VERGLEICH und ALTER, $F(1, 41) = 6,787$; $p < .01$, die im wesentlichen durch den Haupteffekt HEMISPHERE bestimmt wurden. In der Interaktion HEMISPHERE x VERGLEICH x ALTER waren bei den jüngeren Probanden höhere Amplituden für den Größenvergleich zu finden, während bei den Älteren die Amplituden für den numerischen Vergleich höher waren. Für die anderen beiden Zeitbereiche konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

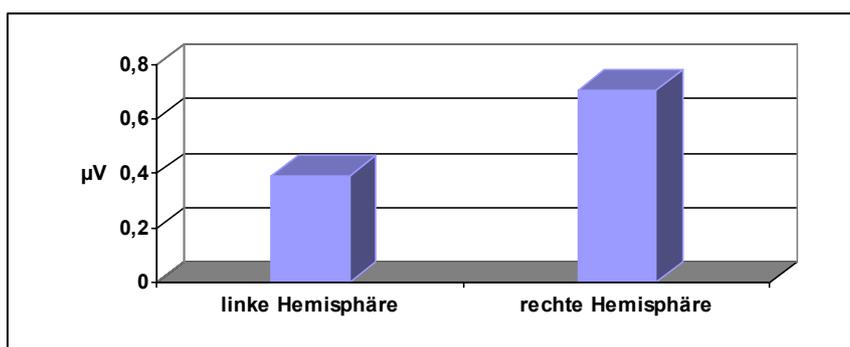


Abbildung 27: mittlere Amplituden getrennt nach rechter und linker Hemisphäre im Zeitbereich 1

Die Variable REGION stand im dritten Zeitbereich in Wechselwirkung mit HEMISPHERE, $F(6, 36) = 4,460$; $\epsilon = .49$; $p \leq .01$, wobei die größten Differenzen zwischen der linken und rechten Hemisphäre in den präfrontalen, temporalen und zentralen Regionen zu finden waren.

Die Interaktion REGION x HEMISPHERE x WECHSEL, $F(5,35) = 3,198$; $p < .01$ verdeutlichte im dritten Zeitbereich die Hemisphärendifferenz besonders in der frontalen, der temporalen und der zentralen Region (Abbildung 28 A), ebenso in der Interaktion REGION x HEMISPHERE x ZEITDRUCK, $F(5,35) = 3,678$; $p < .01$ (Abbildung 28C). Mit der Interaktion REGION x HEMISPHERE x VERGLEICH konnte dies im Zeitbereich 3 nicht so eindeutig belegt werden, $F(5,35) = 3,284$; $p \leq .01$, wie aufgezeigt.

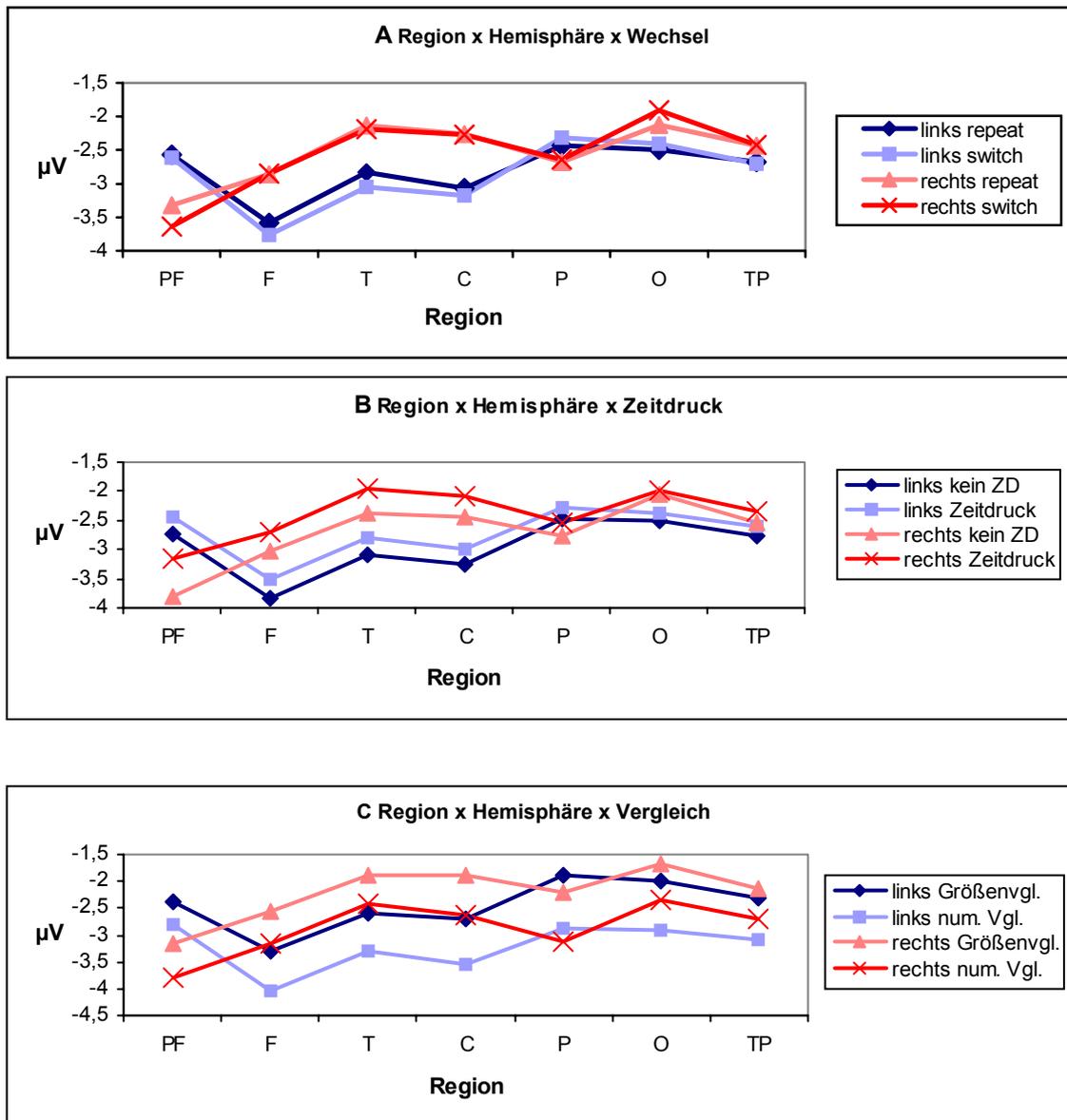


Abbildung 28: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Hemisphere x Wechsel (A), Hemisphere x Zeitdruck (B) sowie Hemisphere x Vergleich (C) für den Zeitbereich 3; ZD = Zeitdruck, Vgl. = Vergleich

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden: Im Zeitbereich 1 ist in den statistischen Analysen verifiziert worden, dass bei den älteren Probanden im frontalen

Bereich positivere Amplituden evoziert wurden als bei den Jüngeren. Für den Zeitbereich 2 konnte ebenfalls die Hypothese in Bezug auf das Alter bestätigt werden. Bei Wechsel zeigten sich im zweiten Zeitbereich positivere Amplituden. Im dritten Zeitbereich wurde wie im Zeitbereich 1 an den frontalen und zentralen Elektroden der Alterseffekt deutlich. Die Hypothese, dass bei Älteren unter Zeitdruck die Amplituden positiver sind, wurde für den ersten und zweiten Zeitbereich ebenfalls verifiziert. Im dritten Zeitbereich dagegen waren die Amplituden negativer. In Bezug auf VERGLEICH wurden negativere Amplituden für den numerischen Vergleich im zweiten und dritten Zeitbereich, im ersten positivere Amplituden gefunden.

8.2.2 Vergleich der mittleren Amplituden über die drei Zeitbereiche

In Tabelle 7 sind die signifikanten Haupteffekte und Interaktionen der drei Zeitbereiche mit den einzelnen Variablen in Bezug auf die Variable ELEKTRODE dargestellt.

Tabelle 7: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITBEREICH x ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)

	F	df	ϵ	p
Elektrode	11,904	7	.48	< .01
Zeitbereich	23,018	2	.70	< .01
Vergleich	10,628	1	-	< .01
Elektrode x Wechsel	2,750	7	.54	< .05
Elektrode x Vergleich	6,415	7	.46	< .01
Elektrode x Alter	7,490	1	-	< .01
Elektrode x Zeitbereich	3,488	14	.28	< .01
Zeitbereich x Vergleich	11,247	2	.84	< .01
Wechsel x Alter	10,542	1	-	< .01
Vergleich x Zeitdruck	5,226	1	-	< .05
Elektrode x Zeitbereich x Zeitdruck	2,453	14	.53	< .01
Elektrode x Zeitbereich x Wechsel	3,854	14	.49	< .01
Elektrode x Zeitbereich x Vergleich	3,650	14	.56	< .01
Elektrode x Zeitbereich x Alter	2,900	14	-	< .05
Elektrode x Vergleich x Alter	4,122	7	-	< .01
Elektrode x Wechsel x Alter	2,492	7	-	< .05
Zeitbereich x Vergleich x Alter	5,168	2	-	< .01
Elektrode x Zeitbereich x Vergleich x Zeitdruck	2,422	14	.54	< .05
Elektrode x Zeitbereich x Wechsel x Vergleich	3,162	14	.43	< .01

Der Vergleich der drei Zeitbereiche miteinander zeigt Interaktionen von ELEKTRODE mit VERGLEICH, ZEITBEREICH und ALTER, die in Abbildung 29 A – C graphisch dargestellt sind.

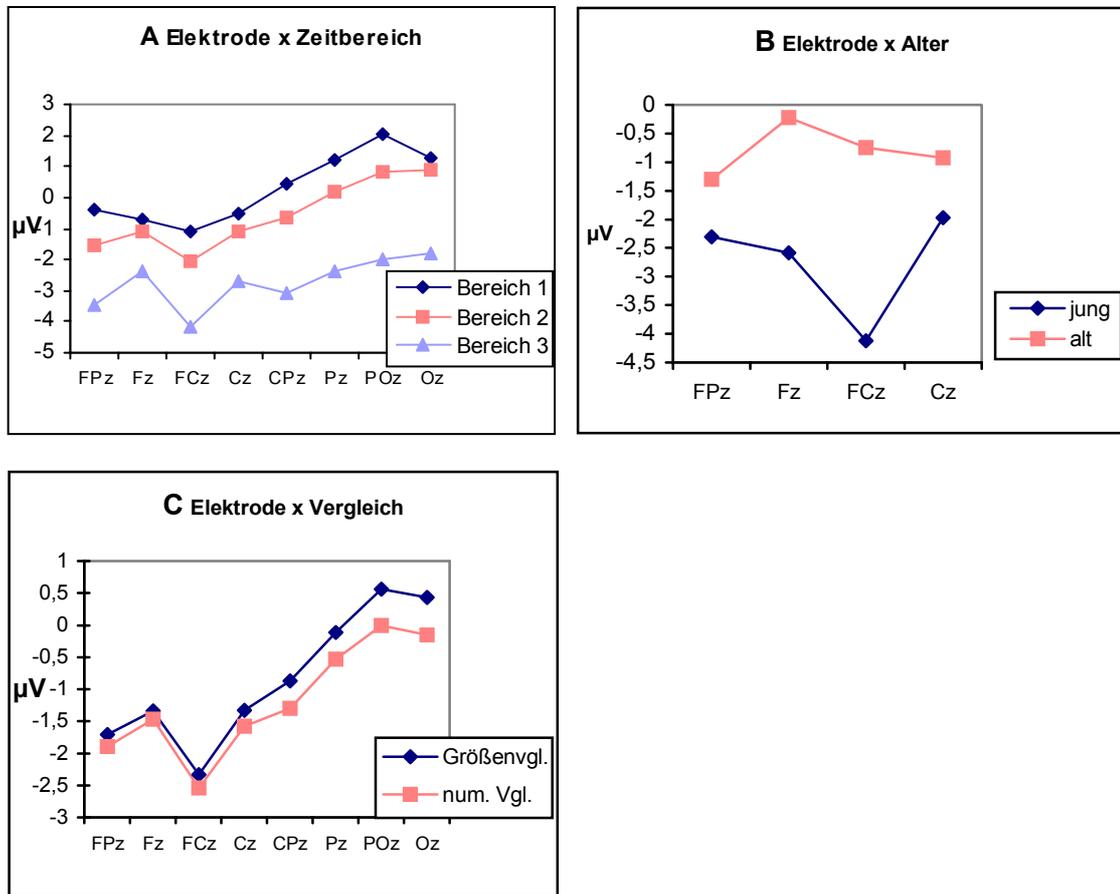


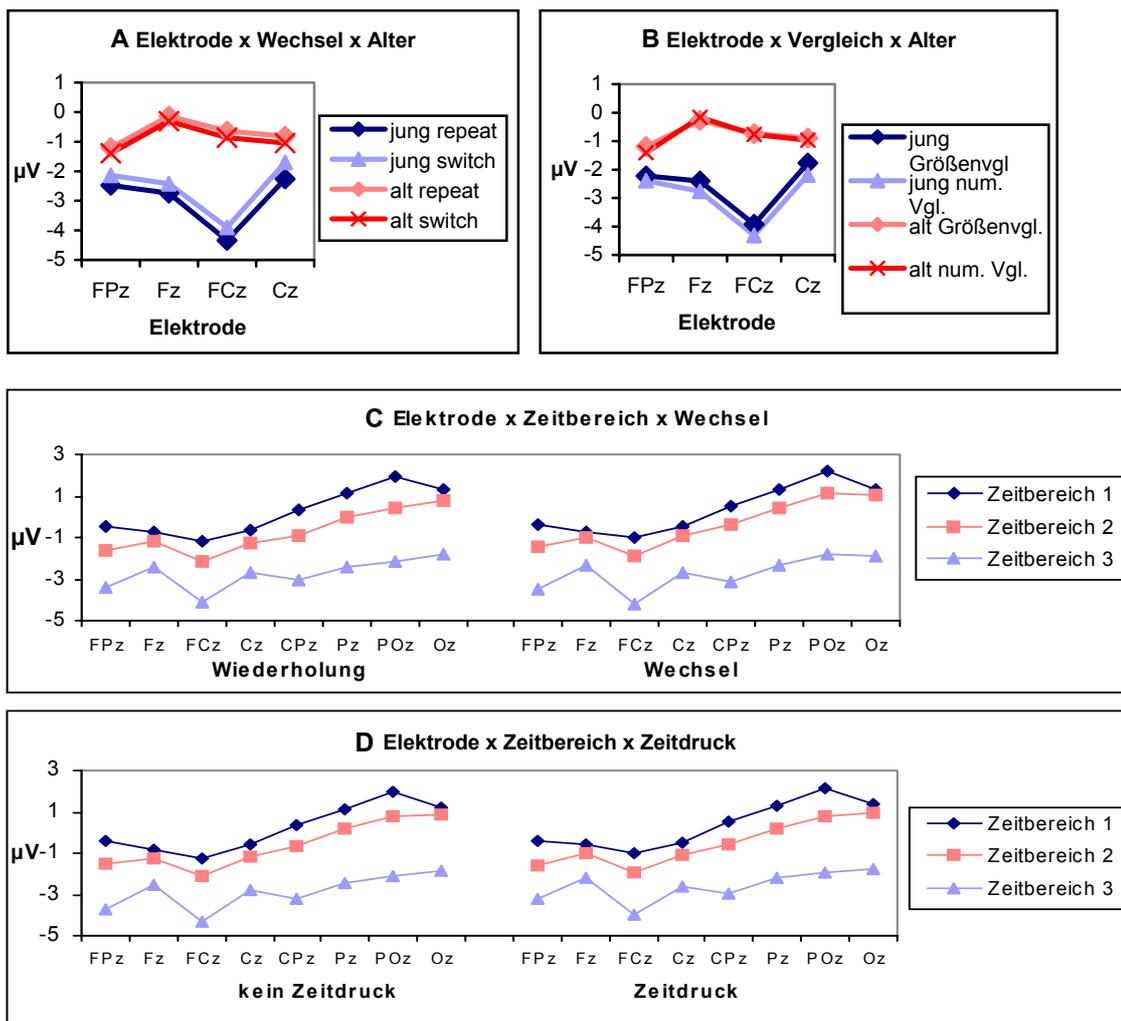
Abbildung 29: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitbereich (A), Alter (B) und Vergleich (C)

Generell fanden sich die positivsten Amplituden im Zeitbereich 1 die negativsten im dritten Zeitbereich (Abbildung 29 A). Die größten Differenzen waren zwischen dem ersten und dem dritten Zeitbereich vorhanden. Die Altersunterschiede waren bei Fz sowie FCz am stärksten ausgeprägt (Abbildung 29 B) und zeigten positivere Amplituden für die älteren Probanden. Für den Größenvergleich werden positivere Amplituden evoziert als für den numerischen Vergleich (Abbildung 29 C).

Für den dritten Zeitbereich ergaben sich im Paarvergleich die größten Amplituden, welche sich signifikant von den beiden anderen Amplituden unterscheiden (Zeitbereich 3 > Zeitbereich 2 und Zeitbereich 1, $p < .05$). Der Haupteffekt VERGLEICH zeigte für den numerischen Vergleich höhere Amplituden, $F(1, 41) = 10,628$; $p < .01$.

Es hat sich außerdem eine Interaktion zwischen WECHSEL und ALTER mit positiveren Amplituden für die älteren Probanden ergeben, $F(1, 41) = 10,542$; $p < .01$.

In der Wechselwirkung von ELEKTRODE mit WECHSEL und ALTER fanden sich für die jüngeren Probanden Altersunterschiede, die in Abbildung 30 A dargestellt sind. Dagegen sind in der Gruppe der Älteren nur geringe Unterschiede zwischen Switch und Repeat sichtbar geworden. Die Interaktion ELEKTRODE x VERGLEICH x ALTER (Abbildung 30 B) wies an FCz die größten Altersdifferenzen auf, während die Unterschiede zwischen numerischen und Größenvergleich innerhalb der beiden Altersgruppen nicht so bedeutend waren. Die Wechselwirkungen in Abbildung 30A und B wurden hauptsächlich vom Alter bestimmt. Die Interaktionen, die in Abbildung 30 C-F dargestellt sind, wurden im Wesentlichen vom Haupteffekt ZEITBEREICH bestimmt. Bis auf die Interaktion ELEKTRODE x ZEITBEREICH x ALTER zeigten sich die größten Amplitudendifferenzen immer zwischen dem ersten und dritten Zeitbereich (siehe auch Tabelle 7). Paarvergleiche haben für alle drei Interaktionen (außer ELEKTRODE x ZEITBEREICH x ALTER) die Unterscheidung in den Amplituden mit Zeitbereich 3 > Zeitbereich 2 > Zeitbereich 1 ($p < .05$) ergeben.



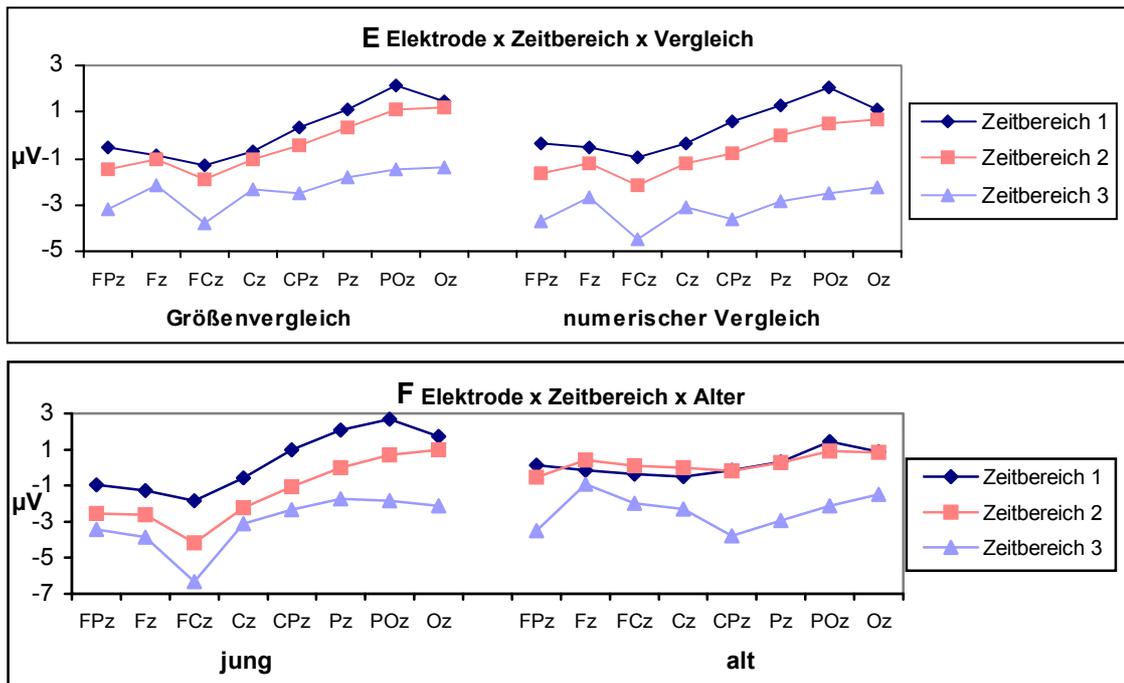


Abbildung 30: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Wechsel x Alter (A), Vergleich x Alter (B) Zeitbereich x Wechsel (C) Zeitbereich x Zeitdruck (D), Zeitbereich x Vergleich (E) und Zeitbereich x Alter (F)

In Abbildung 31 sind die topografischen Amplitudenverteilungen der Versuchspersonengruppen für den numerischen und Größenvergleich getrennt nach Alter dargestellt. Zu sehen sind die unterschiedlichen Skalpverteilungen (in beiden Vergleichsbedingungen und in Abhängigkeit von den beiden Altersgruppen).

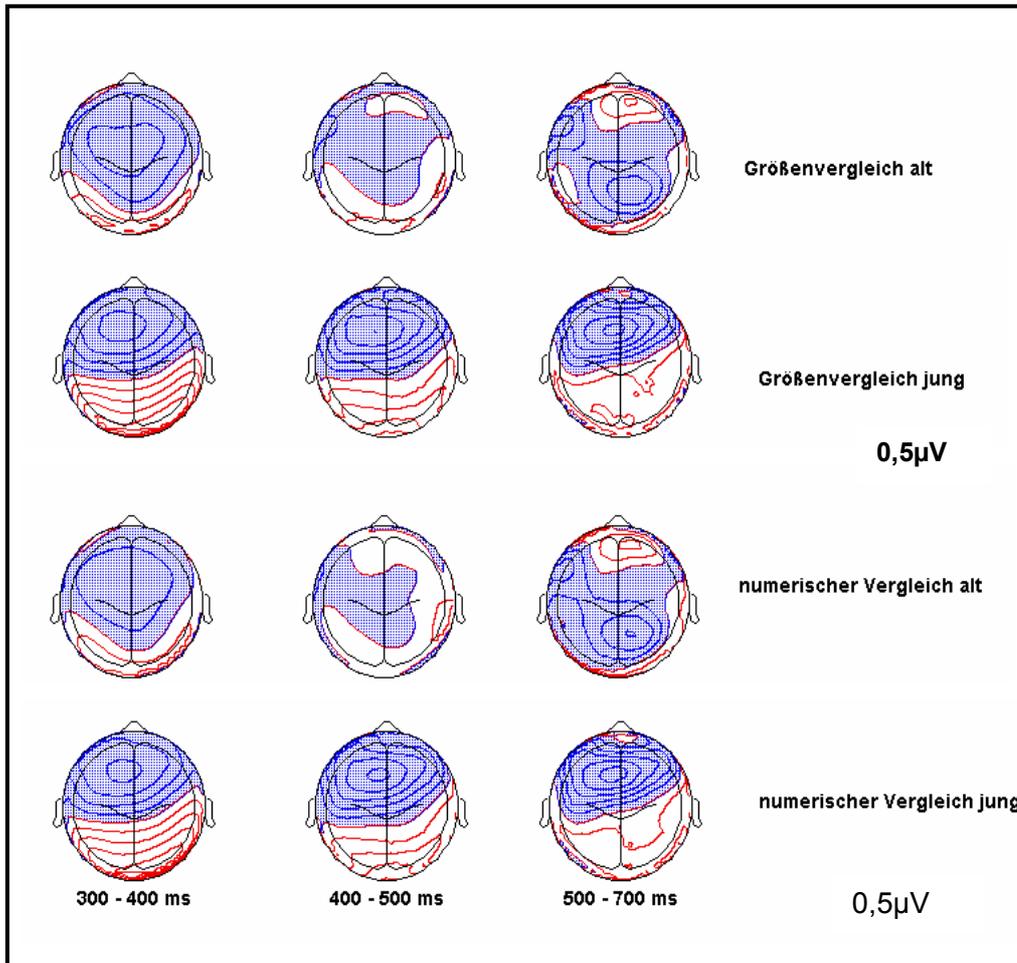


Abbildung 31: topografische Amplitudenverteilungen bezogen auf den Hinweisreiz getrennt nach Jung und Alt sowie numerischem Vergleich und Größenvergleich

Die jüngeren Probanden wiesen über die gesamte Zeit ein Frontalisierung auf. Bei den älteren Probanden dagegen kam es ab ca. 400 ms nach Auftreten des Stimulus zu einer Verlagerung nach zentral bzw. okzipital.

In Tabelle 8 sind die signifikanten Haupteffekte und Interaktionen der drei Zeitbereiche mit den einzelnen Variablen in Bezug auf die Variable REGION dargestellt.

Tabelle 8: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITBEREICH x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)

	F	df	ϵ	p
Region	23,064	6	.62	< .01
Hemisphäre	9,080	1	-	< .01
Zeitbereich	29,569	2	.69	< .01
Vergleich	12,222	1	-	< .01
Region x Alter	11,515	6	-	< .01
Region x Wechsel	4,924	6	.47	< .01
Region x Zeitdruck	3,487	6	.37	< .05
Region x Vergleich	13,692	6	.38	< .01
Region x Hemisphäre	5,031	6	.59	< .01
Region x Zeitbereich	10,252	12	.42	< .01
Wechsel x Alter	8,405	1	-	< .01
Zeitbereich x Vergleich	9,474	2	.86	< .01
Vergleich x Zeitdruck	4,703	1	-	< .05
Hemisphäre x Zeitdruck	6,767	1	-	< .01
Region x Vergleich x Alter	4,474	6		< .01
Region x Zeitbereich x Vergleich	8,860	12	.42	< .01
Region x Zeitbereich x Wechsel	2,295	12	.42	< .05
Region x Zeitbereich x Alter	3,575	12	-	< .01
Region x Zeitbereich x Zeitdruck	2,266	12	.44	< .05
Region x Zeitdruck x Alter	3,735	6	-	< .05
Region x Hemisphäre x Zeitbereich	3,187	12	.55	< .01
Zeitbereich x Vergleich x Alter	4,300	2	-	< .05
Hemisphäre x Zeitbereich x Vergleich	4,385	2	-	< .05
Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	5,360	1	-	< .05
Hemisphäre x Vergleich x Alter	4,497	1	-	< .05
Region x Zeitbereich x Wechsel x Zeitdruck	2,182	12	.50	< .05
Region x Zeitbereich x Vergleich x Zeitdruck	4,321	12	.46	< .01
Region x Zeitbereich x Wechsel x Alter	3,030	12	-	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitbereich x Wechsel	2,869	12	.55	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitbereich x Zeitdruck	2,975	12	.68	< .01
Region x Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	2,541	6	.80	< .05

Der signifikante Haupteffekt von REGION wird gestützt durch Interaktionen mit ALTER, WECHSEL, mit ZEITDRUCK, mit VERGLEICH, ZEITBEREICH und HEMISPHEREN (siehe Abbildung 32 A - C).

Die Interaktion REGION x ALTER (Abbildung 32 A) wies die größten Amplitudenunterschiede zwischen jung und alt an den präfrontalen, frontalen und zentralen Regionen auf. Die Amplituden der jüngeren Probanden variierten stärker als die der Älteren.

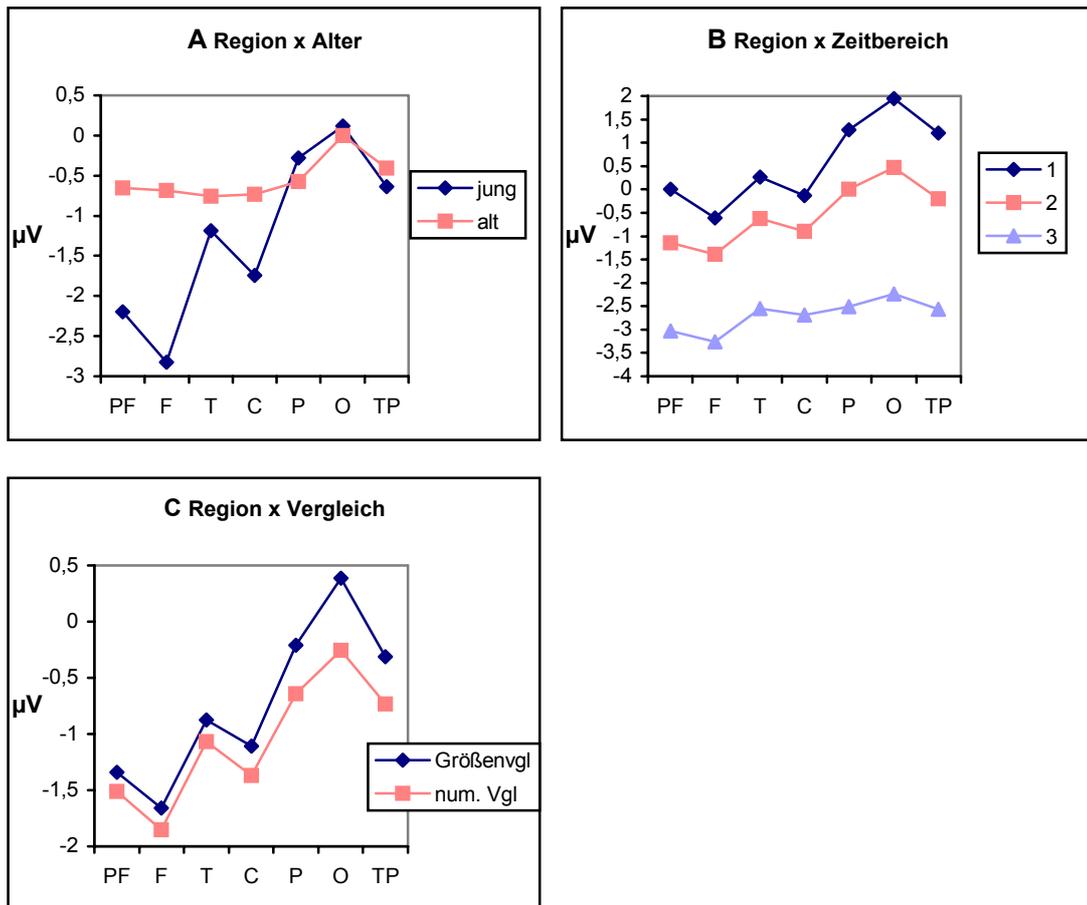


Abbildung 32: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Alter (A), Zeitbereich (B) und Vergleich (C); 1 = Zeitbereich 1, 2 = Zeitbereich 2, 3 = Zeitbereich 3, ZD = Zeitdruck

In der Wechselwirkung REGION x ZEITBEREICH zeigte sich der gleiche Effekt wie bei der Analyse der Elektroden. Der Paarvergleich zeigte ebenfalls die Unterscheidung in den Amplitudenhöhen mit Zeitbereich 3 > Zeitbereich 2 > Zeitbereich 1 ($p < .05$). Der Größenvergleich evozierte in der Interaktion REGION x VERGLEICH positivere Amplituden als der numerische Vergleich (Abbildung 32 B-C).

Des weiteren fand sich ein Haupteffekt für ZEITBEREICH, in welchem sich im dritten Zeitbereich die negativsten und im ersten Zeitbereich die positivsten Amplituden zeigten. Paarvergleiche haben signifikante Unterschiede zwischen den drei Zeit-

bereichen ergeben (Zeitbereich 3 > Zeitbereich 2 > Zeitbereich 1, $p < .05$). Die Variable ZEITBEREICH steht in Wechselwirkung mit VERGLEICH und ALTER, $F(2, 40) = 4,300$; $p < .05$. Der Haupteffekt VERGLEICH zeigte negativere Amplituden für den numerischen Vergleich auf. Es fand sich weiterhin eine Interaktion von WECHSEL mit dem ALTER mit negativere Amplituden für die Jüngeren.

Die zusätzliche Auswertung in Bezug auf die Hemisphären ergab einen bedeutsamen Haupteffekt HEMISPHERE, mit negativere Amplituden für die linke Hemisphäre. Dieser spiegelte sich auch in den Interaktionen HEMISPHERE x ZEITDRUCK sowie HEMISPHERE x VERGLEICH x ALTER wider. Unter Zeitdruck waren die Amplituden negativer als ohne Zeitdruck. Die jüngeren Probanden weisen generell höhere Amplituden auf.

8.2.3 Durch den Aufgabenstimulus ausgelöste P300- Amplituden

In der Auswertung der P300-Amplituden bezogen auf den Stimulus wurde für jede Versuchsperson die Gipfelatenz an der Elektrode Pz bestimmt. Von diesem Zeitpunkt wurden die mittleren Amplituden im Bereich von -25 ms vor bis 25 ms nach der Gipfelatenz in die Auswertung einbezogen.

In Tabelle 9 und Tabelle 10 werden die signifikanten Haupteffekte und Interaktionen für die Variablen ELEKTRODE und REGION gezeigt.

Tabelle 9: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 44)

	F	df	ϵ	p
Elektrode	74,255	7	.52	< .01
Vergleich	6,730	1	-	< .05
Zeitdruck	51,549	1	-	< .01
Zeitdruck x Alter	7,394	1	-	< .01
Wechsel x Vergleich	4,163	1	-	< .05
Elektrode x Zeitdruck	13,721	7	.44	< .01
Vergleich x Zeitdruck	7,717	1	-	< .01
Elektrode x Wechsel x Vergleich	3,891	7	.50	< .01
Elektrode x Zeitdruck x Alter	2,739	7	-	< .05
Elektrode x Wechsel x Zeitdruck	4,142	7	.44	< .01
Elektrode x Vergleich x Zeitdruck	3,443	7	.56	= .01

Tabelle 10: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 44)

	F	df	ϵ	p
Region	110,95	6	.51	< .01
Vergleich	6,694	1	-	< .05
Zeitdruck	54,580	1	-	< .01
Zeitdruck x Alter	8,351	1	-	< .01
Vergleich x Zeitdruck	7,476	1	-	< .01
Region x Zeitdruck	20,731	6	.47	< .01
Region x Hemisphäre	3,760	6	.55	< .05
Region x Wechsel x Vergleich	5,891	6	.59	< .01
Region x Zeitdruck x Alter	2,765	6	-	< .05
Region x Wechsel x Zeitdruck	3,481	6	.50	< .05
Region x Vergleich x Zeitdruck	2,801	6	.52	< .05

Abbildung 33 zeigt die Grand Means der EKP auf den Stimulus unterteilt nach den jeweiligen Versuchspersonengruppen. Die Betrachtung dieser Grand Means verdeutlicht die statistisch nachgewiesenen höheren Amplituden für die Zeitdruckbedingung für die Elektroden Fz, Cz, Pz.

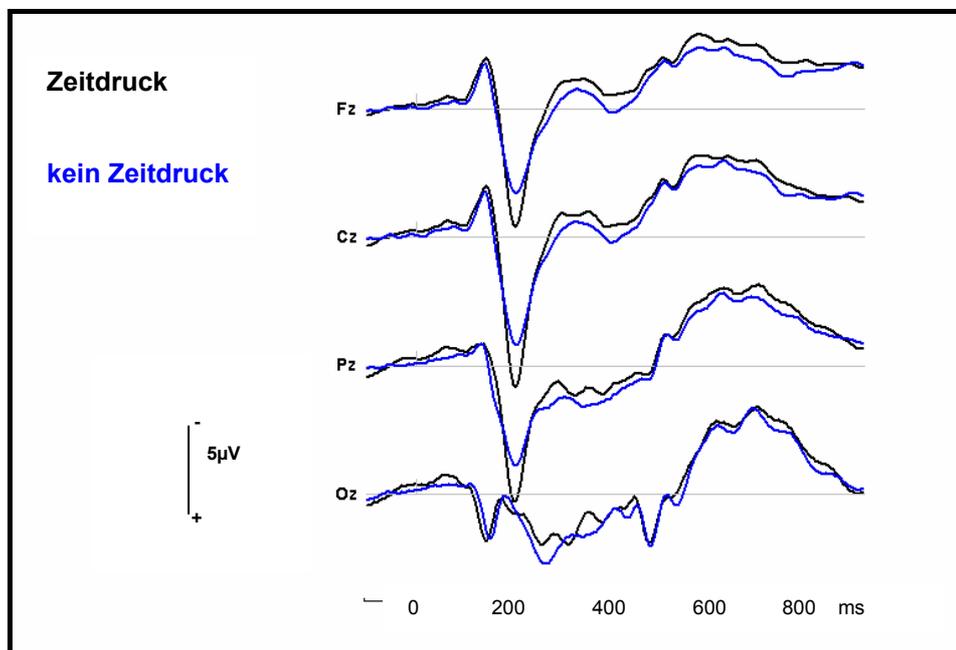


Abbildung 33: Grand Mean EKP auf den Stimulus getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck

Die Grand Mean auf den Stimulus für Zeitdruck und kein Zeitdruck getrennt nach jung und alt sind in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt.

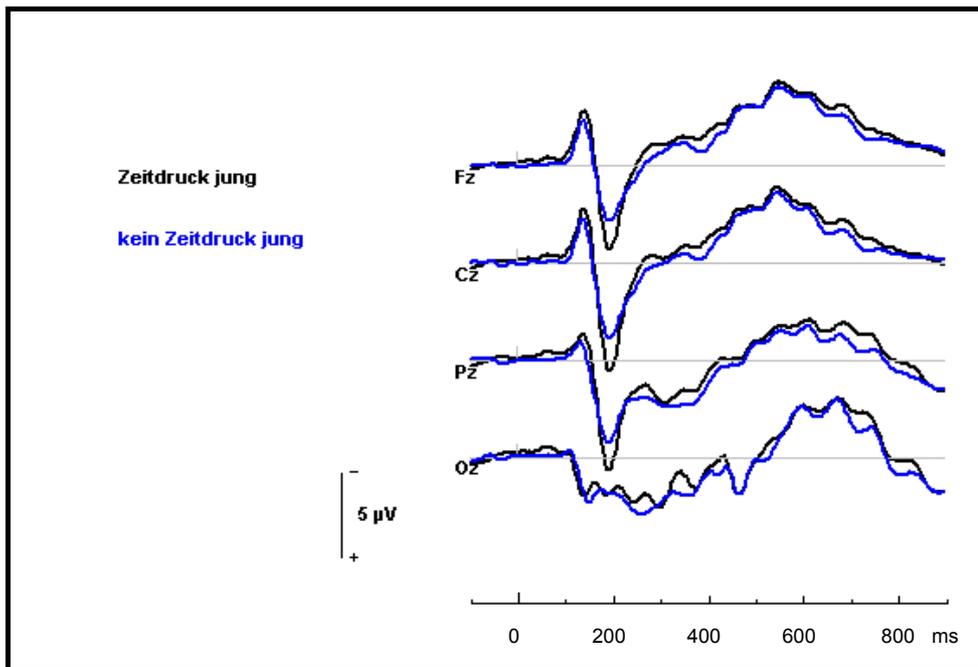


Abbildung 34: Grand Mean EKP auf den Stimulus für die jüngeren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck

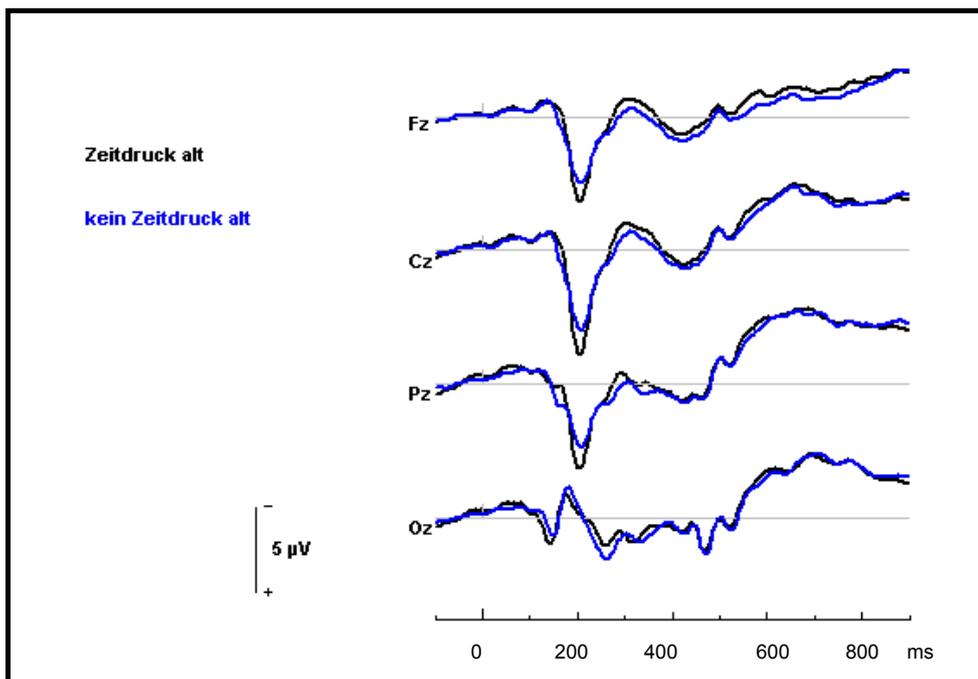


Abbildung 35: Grand Mean EKP auf den Stimulus für die älteren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck

Es fand sich erwartungsgemäß ein signifikanter Haupteffekt für ELEKTRODE, welcher der üblichen Topographie mit parietal > zentral > frontal entspricht. Die statistisch bedeutsame Wechselwirkung ELEKTRODE x WECHSEL x VERGLEICH ergab ebenfalls ein parietales Maximum über alle Bedingungen (parietal > zentral > frontal)

mit größeren P300-Amplituden für den Größenvergleich bei Switch und Repeat. Die Switch-Bedingung evozierte im Vergleich zur Repeat-Bedingung eine deutlich stärkere Positivierung. Wenn für Wechsel auch kein Haupteffekt zu finden war, so weisen die Interaktionen jedoch in die vorhergesagte Richtung. Der Zeitdruckeffekt wurde durch die Interaktionen ELEKTRODE x ZEITDRUCK sowie ELEKTRODE x ALTER x ZEITDRUCK deutlich. Die Amplituden waren in beiden Altersgruppen in der Zeitdruckbedingung höher als in der Bedingung ohne Zeitdruck. Das parietale Maximum war bei den Jüngeren größer als bei den älteren Probanden. Die Interaktion ELEKTRODE x ALTER x ZEITDRUCK, die in Abbildung 36 dargestellt ist, verdeutlicht die größeren Amplitudendifferenzen zwischen Zeitdruck und kein Zeitdruck bei den Jüngeren. Generell evoziert die Zeitdruckbedingung die positiveren Amplituden.

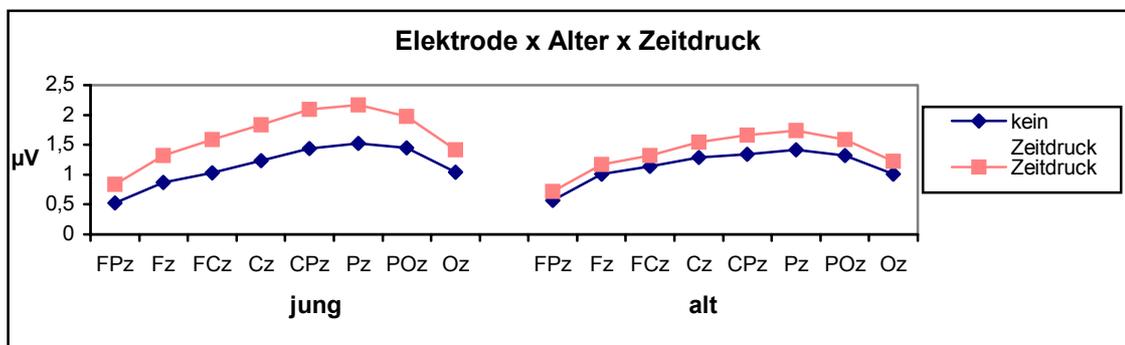


Abbildung 36: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitdruck x Alter

Der reliable Effekt für ZEITDRUCK erbrachte stärkere P300-Amplituden unter Zeitdruck als ohne Zeitdruck, $F(1, 43) = 51,549$; $p < .01$. Die statistisch bedeutsame Interaktion ZEITDRUCK x ALTER ergab größere Amplituden für die Zeitdruckbedingung, die bei den jüngeren Probanden noch stärker ausgeprägt waren als bei den älteren Probanden, $F(1, 43) = 7,394$; $p < .01$.

Für die Variable REGION konnten neben einem signifikanten Haupteffekt mit einem Maximum in der parietalen Region (parietal > zentral > frontal) Interaktionen mit ZEITDRUCK, ZEITDRUCK x ALTER sowie VERGLEICH x ZEITDRUCK (siehe Abbildung 37 A - C) gefunden werden.

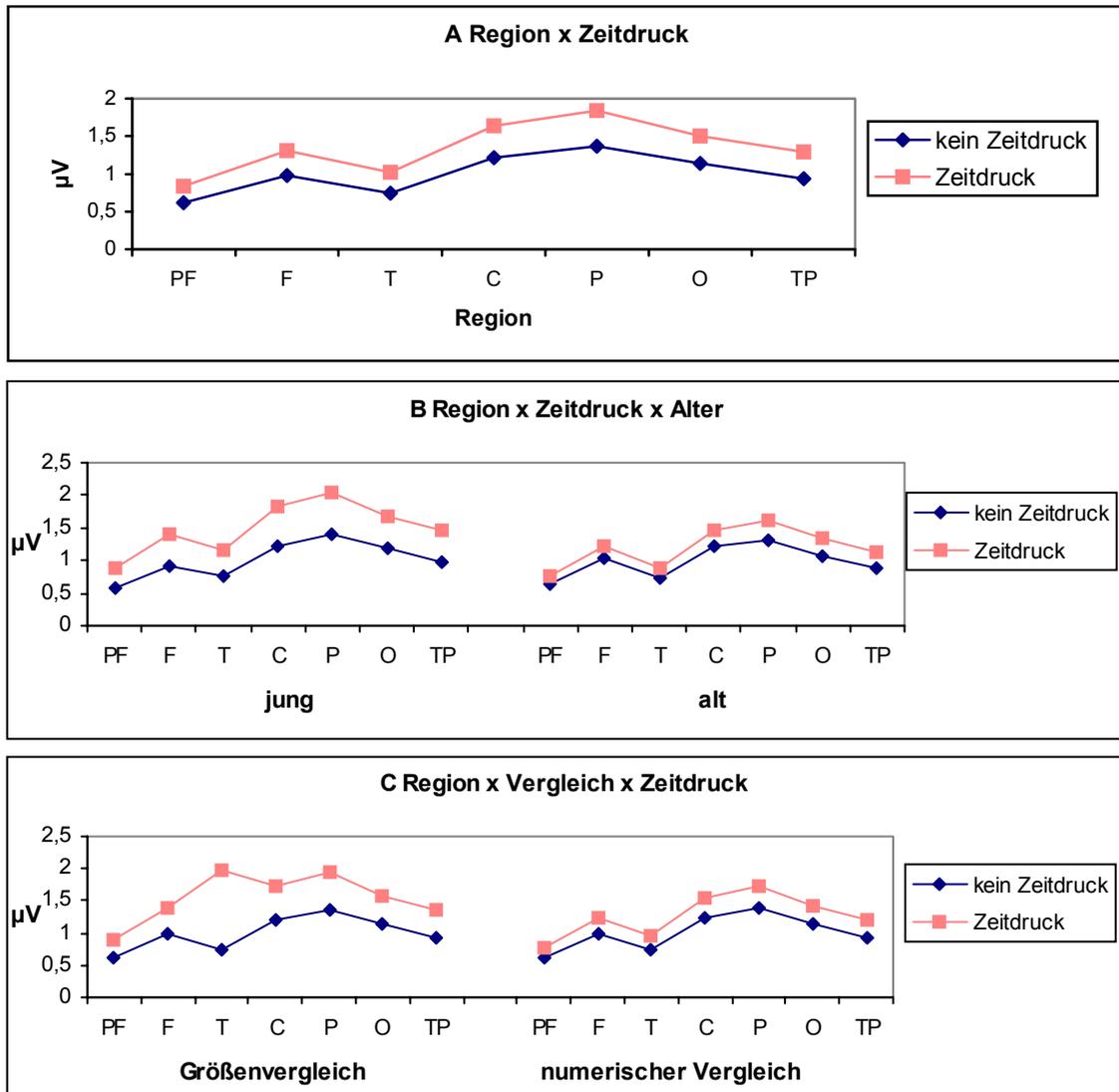


Abbildung 37: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Zeitdruck (A), Zeitdruck x Alter (B) und Vergleich x Zeitdruck (C)

Es sind reliable Effekte für Zeitdruck gefunden worden, wobei in der Zeitdruckbedingung positivere Elektroden evoziert wurden als ohne Zeitdruck, $F(1, 43) = 54,580$; $p < .01$. Die Variable Zeitdruck interagiert mit dem ALTER, $F(1, 43) = 8,351$; $p < .01$. Für Zeitdruck wurden hier ebenso die positiveren Amplituden evoziert, allerdings sind diese bei den Jüngeren positiver als bei den Älteren.

Der Haupteffekt VERGLEICH dokumentiert signifikant größere Amplituden für den Größenvergleich, $F(1, 43) = 6,694$; $p < .05$. Für den Vergleich wurden unterschiedliche Amplituden der P300 erwartet. Die Analyse bestätigt diese Annahmen. In der Bedingung Größenvergleich wurden höhere Amplituden evoziert als für den numerischen Vergleich, $F(1, 43) = 6,730$; $p < .05$.

Der Größenvergleich wies in beiden Wechselbedingungen (Switch vs. Repeat) größere Amplituden als der numerische Vergleich auf, $F(1, 43) = 4,163$; $p < .05$.

8.2.4 Resultate der CNV-Amplituden

Die Amplitude der CNV wurde zwischen Hinweisreiz und Stimulus über einen Zeitbereich von -1950 ms vor dem Auftreten des Hinweisreizes bis 150 ms nach dem Auftreten des Stimulus ermittelt. Die Amplitudenhöhe wurde über ein Zeitfenster von 100 ms vor dem Auftreten des Stimulus bestimmt und durch Bildung der Differenz zur Bezugslinie ermittelt.

In Abbildung 38 sind die Maps über den für die CNV untersuchten Zeitbereich in den Bedingungen Zeitdruck und kein Zeitdruck getrennt nach Jung und Alt abgebildet. Unterschiede in der Skalpverteilung für die jüngeren und älteren Versuchspersonen sind deutlich zu sehen, während die Unterschiede zwischen den Zeitdruckbedingungen innerhalb der Altersgruppen weniger eindeutig nachzuweisen sind. In dieser Abbildung werden Unterschiede zwischen jung und alt zwischen -1950 und -550 ms zu deutlich. Dann wird die Verteilung ähnlicher und verschiebt sich von frontal nach zentral sowie okzipital.

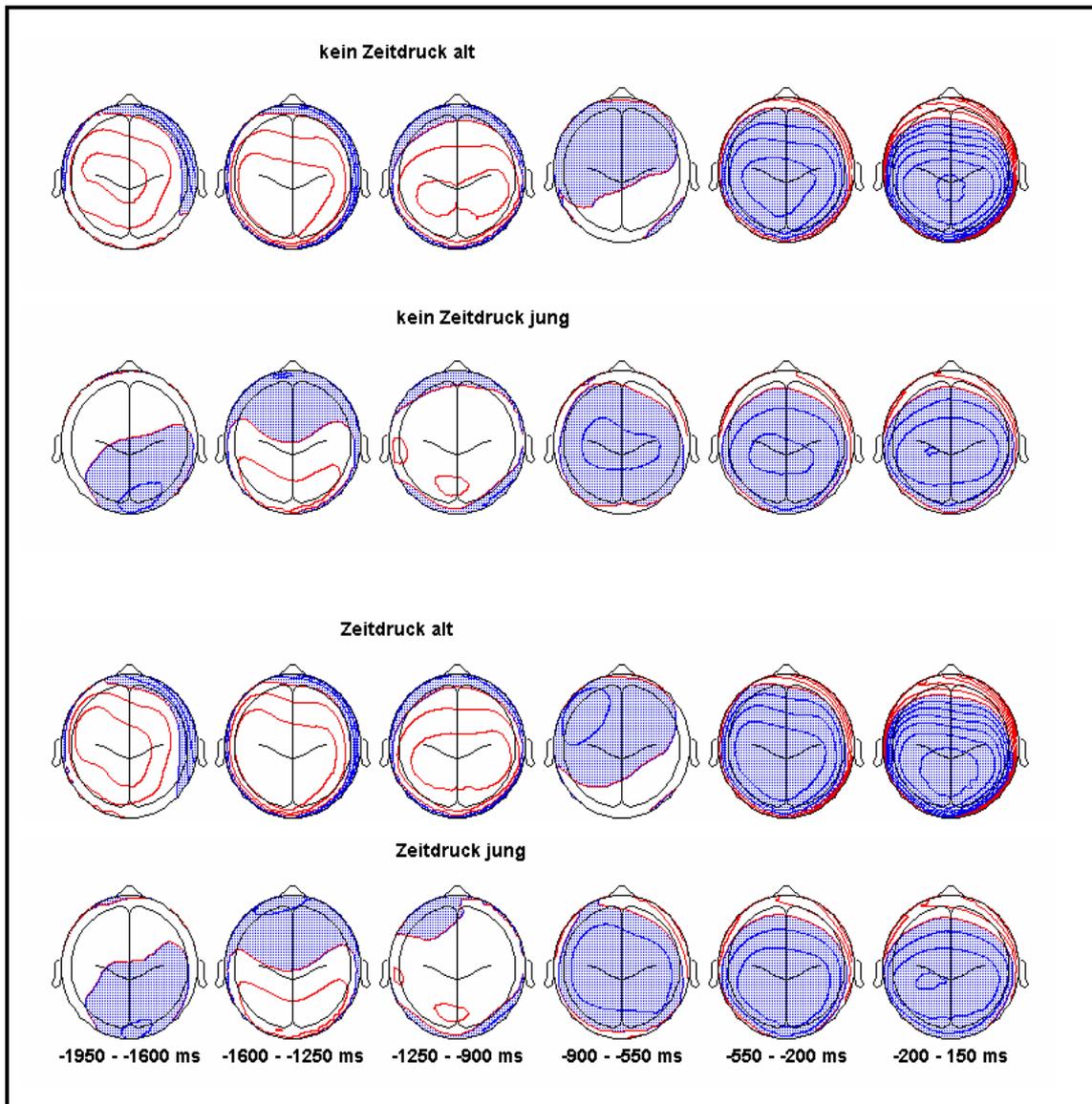


Abbildung 38: Maps der CNV im Zeitraum von -1950 ms bis 150 ms getrennt nach Jung und Alt (0,5 μ V)

Die folgenden Abbildungen zeigen Grand Means für die Zeitdruckbedingungen gesamt sowie unterteilt nach den beiden Zeitdruckbedingungen für jung und alt (Abbildung 39, Abbildung 40 und Abbildung 41). Auch hier können die Unterschiede zwischen den jüngeren und älteren Erwachsenen verdeutlicht werden.

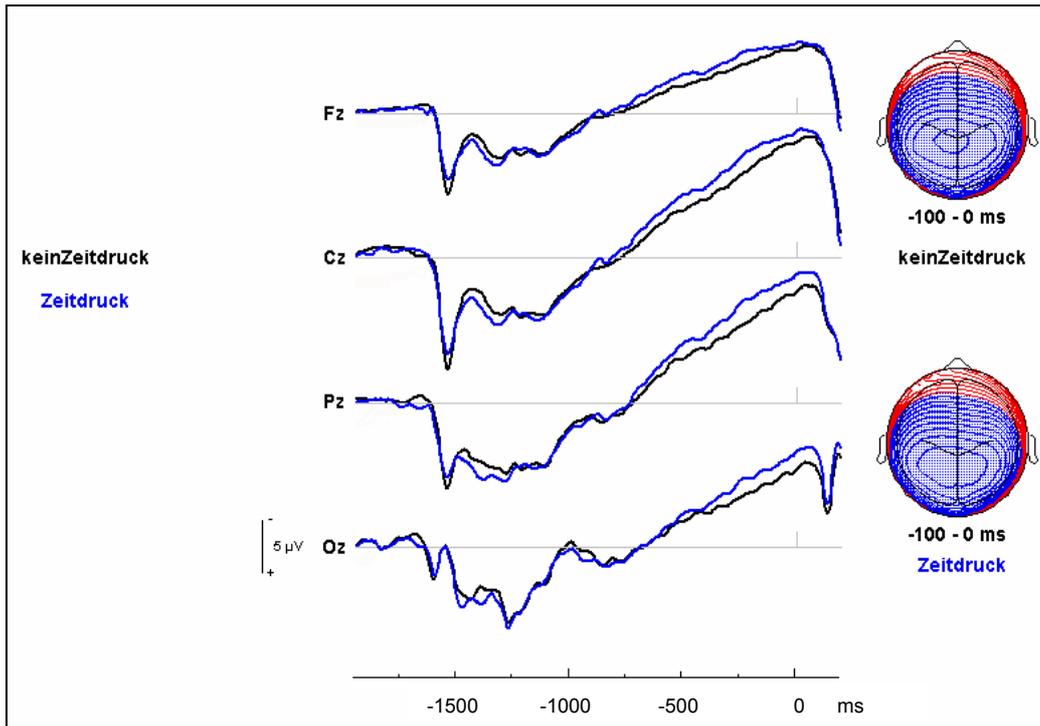


Abbildung 39: Grand Mean CNV für alle Versuchspersonen getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck und topografische Amplitudenverteilung für den Zeitbereich -100 bis 0 ms

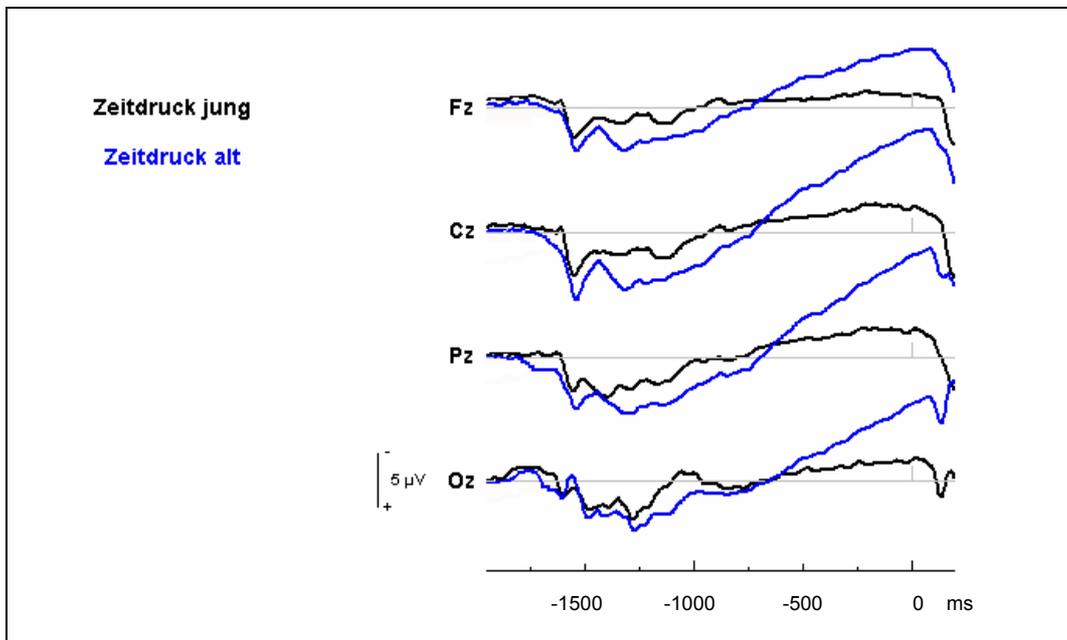


Abbildung 40: Grand Mean CNV für die Probanden in der Bedingung Zeitdruck

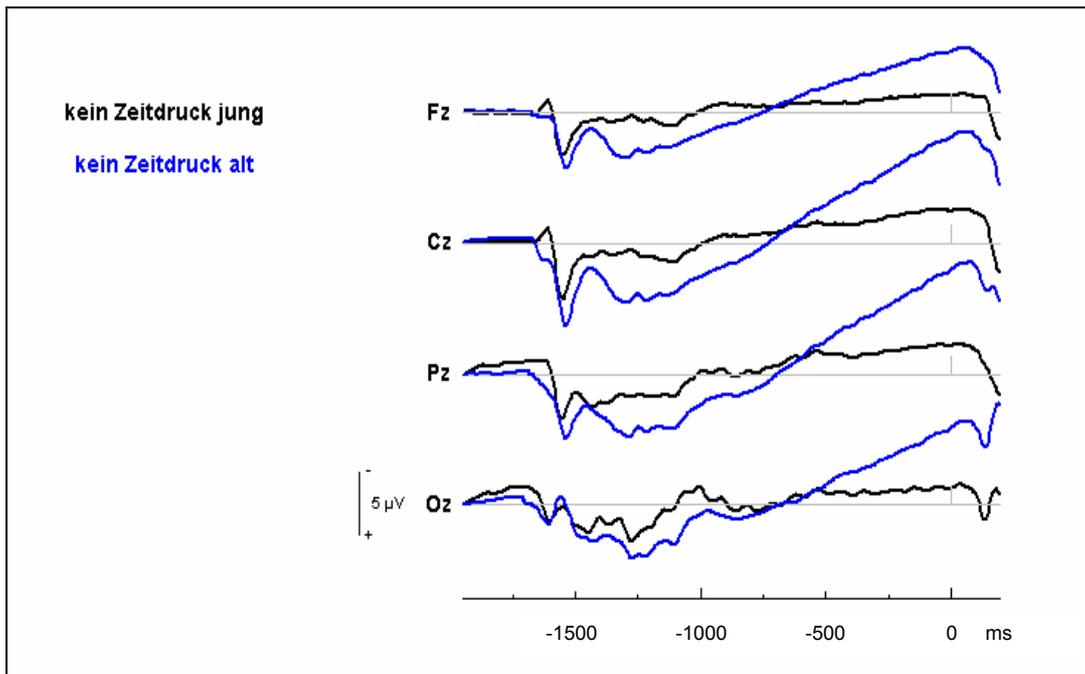


Abbildung 41: Grand Mean CNV für die Probanden in der Bedingung kein Zeitdruck

Zusammenfassend zeigten sich im Allgemeinen für die älteren Probanden, wenn auch nicht immer statistisch bedeutsam, so tendenziell über alle Bedingungen höhere Amplituden.

In der Auswertung hat sich ein bedeutsamer Haupteffekt für ELEKTRODE mit einem ausgeprägt zentralen und zentroparietalen Maximum1 ergeben, $F(7, 35) = 34, 164$; $\epsilon = .74$; $p < .0$. Die Variable ELEKTRODE interagiert mit ZEITDRUCK, $F(7, 35) = 5,554$; $\epsilon = .70$; $p < .01$ sowie mit ZEITDRUCK x ALTER, $F(7, 35) = 4,664$; $p < .01$ (Abbildung 42). Es wurden größere Differenzen zwischen Zeitdruck und keinem Zeitdruck in der Gruppe der jüngeren Probanden im Vergleich zu den Älteren deutlich. Die Zeitdruckbedingung evozierte hierbei in beiden Altersgruppen die negativeren Amplituden.

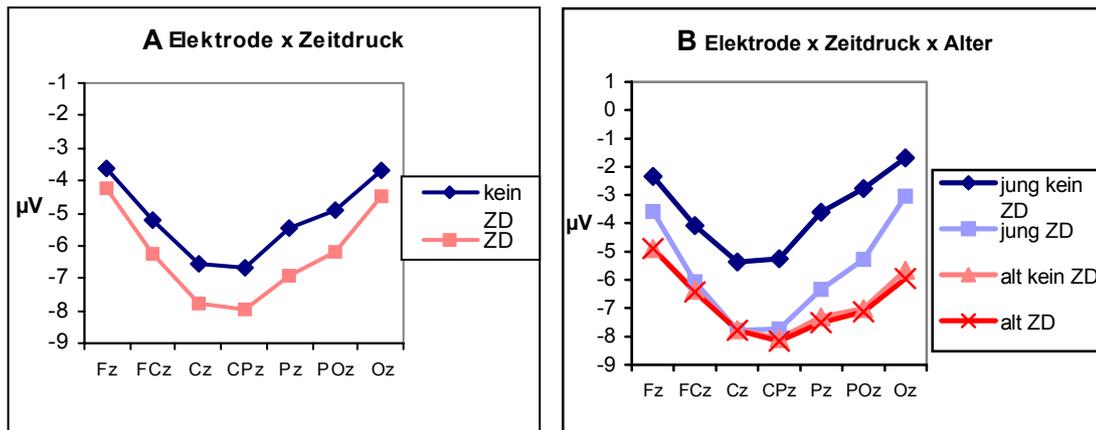


Abbildung 42: mittlere CNV-Amplitude in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitdruck (A) und Zeitdruck x Alter (B); ZD = Zeitdruck

Diese Interaktionen wurden durch den Haupteffekt für ZEITDRUCK, $F(1, 41) = 12,333$; $p < .01$ qualifiziert, der die Erwartung bestätigt, dass die CNV-Amplituden unter Zeitdruck größer sind. Des weiteren ergibt sich eine signifikante Interaktion für ZEITDRUCK x ALTER, in der die Amplituden, wie vermutet, für Jung und Alt unter Zeitdruck höher waren, wobei die Amplituden der Älteren wesentlich höher sein sollten als die der Jüngeren, was sich für die Elektroden Fz, Poz, Oz sowie Pz bestätigen lässt, $F(1, 41) = 10,406$; $p < .01$.

Weiterhin wurde die Vermutung für einen Haupteffekt für die Regionen bestätigt, $F(6, 36) = 72,176$; $\epsilon = .56$; $p < .01$. Für den Faktor REGION fanden sich Interaktionen mit den Faktoren ZEITDRUCK, $F(6, 36) = 10,198$; $\epsilon = .74$; $p < .01$, ZEITDRUCK x ALTER, $F(6, 36) = 7,589$; $p < .01$, VERGLEICH, $F(6, 36) = 5,160$; $\epsilon = .70$; $p < .01$, HEMISPHERE, $F(6, 36) = 6,186$; $\epsilon = .95$; $p < .01$, HEMISPHERE x VERGLEICH, $F(6, 36) = 3,401$; $\epsilon = .88$; $p < .01$, sowie HEMISPHERE x ZEITDRUCK, $F(6, 36) = 2,711$; $\epsilon = .81$; $p < .05$ (siehe Abbildung 43 A - C). Damit wurden die Erwartungen in Bezug auf den Zeitdruck statistisch bestätigt. In der Tendenz zeigt sich, dass die Amplituden der Switch-Bedingung größer sind als die der Repeat-Bedingung, $F(1, 41) = 3,784$; $p = .058$.

Mittels eines t-Tests für gepaarte Stichproben wurde die signifikante Interaktion REGION x HEMISPHERE x VERGLEICH überprüft. Es wurden für den numerischen Vergleich signifikante Unterschiede zwischen linker und rechter Hemisphäre in der präfrontalen Region, $t = (43) -5,502$, $p < .01$ und der temporalen Region, $t = (43) 2,851$, $p < .01$ gefunden. Die linke Hemisphäre wies die größeren Amplituden auf. Der Größenvergleich erbrachte einen signifikanten Unterschied, $t = (43) -6,004$, $p < .01$, in der präfrontalen Region mit höheren Amplituden für die linke Hemisphäre.

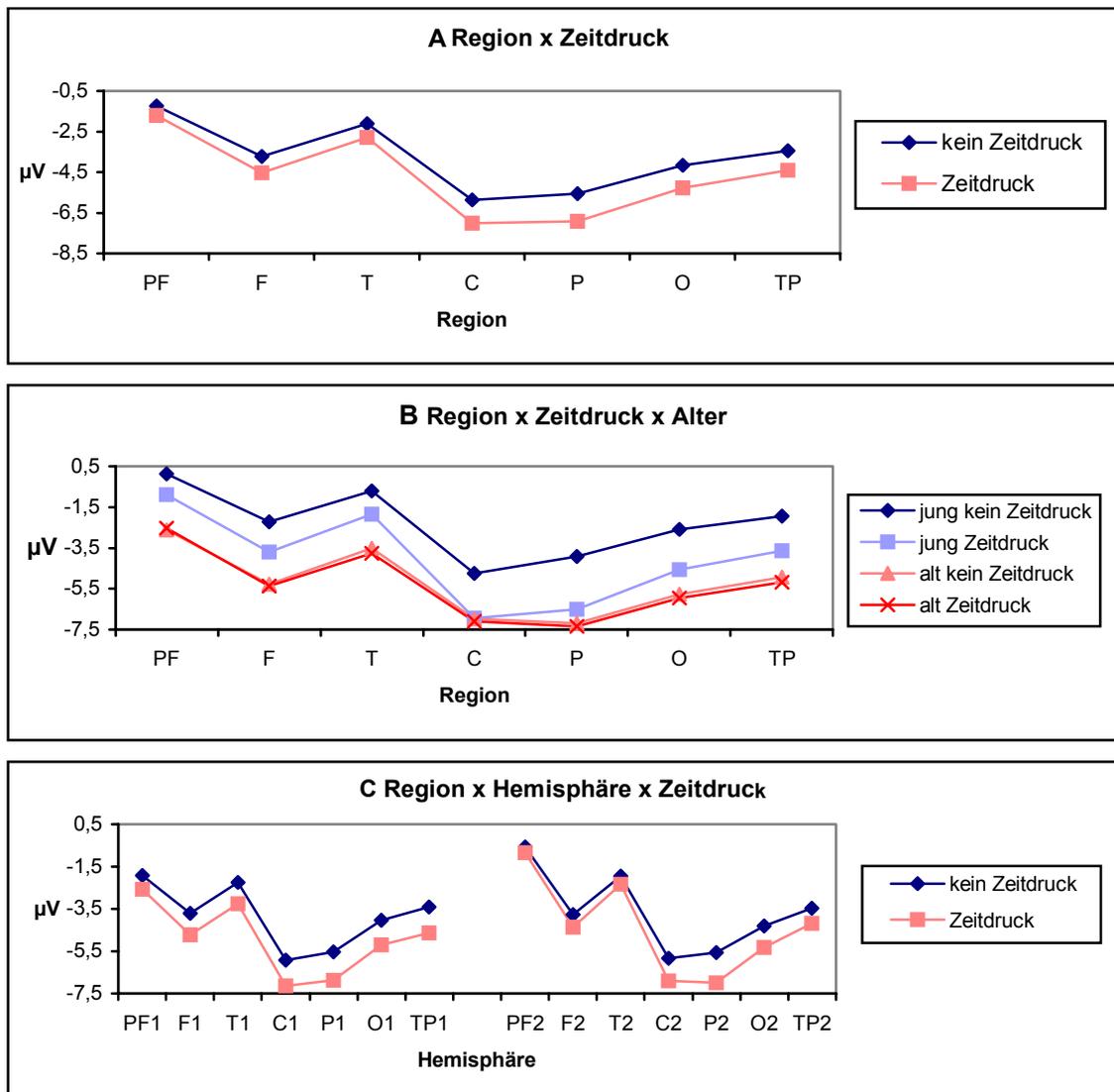


Abbildung 43: mittlere CNV-Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Zeitdruck (A), Zeitdruck x Alter (B) und Hemisphäre x Zeitdruck (C)

Für die CNV-Amplituden fand sich ein Haupteffekt von HEMISPHERE, $F(6, 36) = 5,105$; $p < .05$, der mit ZEITDRUCK interagiert, $F(1, 41) = 9,298$; $p < .01$ sowie ein Haupteffekt von ZEITDRUCK, $F(1, 41) = 10,741$; $p < .01$, welcher mit ALTER, $F(1, 41) = 7,754$; $p < .01$ in Wechselwirkung stand. Dabei waren die Amplituden für Zeitdruck negativer als die ohne Zeitdruck, was die Erwartungen bestätigt.

Zusammenfassend konnten die Hypothesen für die CNV in Bezug auf die Altersunterschiede sowie den Zeitdruck statistisch belegt werden. Die Erwartungen hinsichtlich Wechsel und Vergleich weisen in den verschiedenen Interaktionen jedoch in die vorhergesagte Richtung.

8.3 Auswertung der Verhaltensdaten

8.3.1 Working Memory und Test d2

In Bezug auf den Working Memory Test und den Test d2 wurden Zusammenhänge mit den Reaktionszeiten erwartet. Anhand des Working Memory Tests konnten keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen gefunden werden. Die Werte für den Test Zahlenspanne zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität und die Mittelwerte der Reaktionszeiten waren normalverteilt. Im Mittel gab es zwischen alt (M = 22,48) und jung (M = 23,65) einen Unterschied von ca. einem Punkt. Um zu überprüfen, ob signifikante Zusammenhänge zwischen den Reaktionszeiten und dem Working Memory Test bestehen, wurden bivariate Korrelationen nach Pearson bzw. Spearman durchgeführt. Die Betrachtung aller Reaktionszeiten wies keinen Zusammenhang mit dem Working Memory Test auf, $r = -.186$ ($p = .221$). Ebenso ergaben die einzelnen Überprüfungen der Zusammenhänge zwischen jung mit $r = -.233$ ($p = .262$) und alt mit $r = -.088$ ($p = .712$) keine signifikanten Resultate. Eine ANOVA des Testes Zahlenspanne mit dem Alter erbrachte keine Altersunterschiede.

In der Auswertung des Test d2 weichen alt und jung in den Bereichen Fehler/Sorgfalt und Konzentrationsleistung stark voneinander ab (siehe Tabelle 11). Der Mittelwert für Bearbeitungstempo ist in beiden Gruppen annähernd gleich.

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Test d2 Werte

	Alter	Mittelwert	Standardabweichung
Bearbeitungstempo	jung	102,20	8,96
	alt	101,19	9,16
	Gesamt	101,74	8,96
Fehler/Sorgfalt	jung	106,32	8,66
	alt	97,52	9,63
	Geamt	102,30	10,04
Konzentrationsleistung	jung	104,32	8,40
	alt	99,67	7,90
	gesamt	102,2	8,41

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den Reaktionszeiten und dem Test d2 zeigte erwartungsgemäß einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Reaktionszeiten und dem Bearbeitungstempo mit $r = -.318$ ($p < .05$), d.h. je höher das Bearbeitungstempo desto geringer sind die Reaktionszeiten. Eine separate

Überprüfung nach jung und alt ergab ebenso für das Bearbeitungstempo eine Korrelation mit den Reaktionszeiten für die Älteren mit $r = -.577$ ($p < .01$), jedoch nicht für die Jüngeren $r = -.174$ ($p = .405$). Eine ANOVA des Tests-d2 mit dem Alter zeigt die Altersunterschiede bei Fehler/Sorgfalt mit geringerer Fehlerzahl bei den Jüngeren, $F(1, 41) = 11,861$; $p < .01$. Die Unterschiede in der Konzentrationsleistung sind dagegen nicht statistisch bedeutsam, zeigen aber im Trend, dass die Gesamtzahl der richtig durchgestrichenen Zeichen, abzüglich der Verwechslungsfehler bei den jüngeren Probanden höher ist als bei den älteren Probanden. Der Test d2 erfasst anscheinend gegenüber den Reaktionszeiten andere Eigenschaften.

Die Korrelation des Test d2 mit dem Test Zahlenspanne des Working Memory Tests zeigt bei den Jüngeren keine Effekte. Bei den Älteren korreliert die Konzentrationsleistung des Test d2 mit dem Working Memory Test $r = .488$ ($p < .05$). Betrachtet man alle Versuchspersonen, ergibt sich ebenfalls eine Korrelation zwischen der Konzentrationsleistung im Test d2 und dem Working Memory Test mit $r = .427$ ($p < .01$). Das bedeutet, hohe Werte in der Konzentrationsleistung gehen mit hohen Werten im Test Zahlenspanne des Working Memory einher.

Die Korrelation des Test d2 mit Alter ergibt einen signifikanten Zusammenhang von Alter mit Fehler/Sorgfalt des Test d2 mit $r = -.416$ ($p < .01$), was für die älteren Probanden auf eine größere Fehleranzahl bzw. geringere Sorgfalt in der Bearbeitung hinweist.

8.3.2 EZ-Skala

Um das momentane Befinden der Probanden vor und nach Durchführung des Experiments zu untersuchen, wurde die EZ-Skala von Nitsch (1976) zu den drei Zeitpunkten des Experiments eingesetzt. Am ersten Untersuchungstag fand die erste Befragung statt, und am zweiten Untersuchungstag wurden die Zeitpunkte 2 und 3 erhoben. Der eigentliche Vergleich erfolgt in Form einer Prä-Post-Analyse der Eigenzustandsskala. Diese Analyse wurde über den Wilcoxon-Test, einem non-parametrischen Test zum Vergleich zweier verbundener Stichproben erstellt. Es wurde ein nonparametrischer Test angewandt, da die Überprüfung einer möglichen Normalverteilung der Daten in den erhobenen Hauptkategorien, Motivation und Beanspruchung, nach Kolmogorov-Smirnov nicht durchgängig zu signifikanten Ergebnissen führte.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 12 zu entnehmen. Um eine Vereinheitlichung der Interpretation der Faktorenwerte zu gewährleisten, wurden die

Skalen so gepolt (Nitsch, 1976), dass bei allen Faktoren mit zunehmenden Werten die subjektiv positive Einschätzung der eigenen Handlungslage zunimmt.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der EZ-Skalen zu den drei Zeitpunkten.

	Probanden jung M (SD) n=26			Probanden alt M (SD) n=19		
	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3
Motivation	5,88 (2,0)	5,92 (2,0)	5,36 (2,4)	6,53 (2,1)	5,84 (2,2)	5,40 (2,5)
Beanspruchung*	6,24 (1,9)	6,21 (1,8)	5,48 (2,0)	6,26 (2,2)	5,89 (1,8)	5,35 (2,2)
Aktivation	6,08 (1,9)	5,79 (1,8)	4,68 (2,3)	6,21 (2,1)	5,63 (2,0)	4,65 (2,5)
Effizienz	5,52 (1,9)	5,63 (2,1)	5,84 (2,2)	6,58 (2,0)	5,53 (2,2)	5,90 (2,3)
Tension*	5,92 (2,0)	5,83 (1,7)	5,64 (1,9)	5,74 (2,1)	5,63 (1,8)	5,50 (2,0)
Defizienz*	6,28 (1,5)	6,46 (1,8)	5,24 (1,9)	6,79 (1,8)	6,21 (1,7)	5,10 (1,8)
Anstrengungs- bereitschaft	6,08 (1,8)	5,79 (1,9)	4,84 (2,3)	6,32 (2,1)	5,63 (2,1)	4,85 (2,4)
Kontaktbereitschaft	5,44 (2,0)	5,17 (1,7)	4,24 (1,8)	5,84 (2,0)	5,05 (1,8)	4,10 (2,0)
Soziale Anerkennung	6,00 (2,0)	6,33 (2,1)	6,24 (2,1)	7,11 (1,7)	6,37 (2,2)	6,25 (2,3)
Selbstsicherheit	5,12 (1,8)	4,96 (2,1)	5,44 (2,2)	6,11 (2,0)	4,79 (2,0)	5,50 (2,2)
Stimmungslage	5,92 (2,0)	5,71 (1,8)	5,56 (1,8)	5,74 (2,1)	5,53 (1,9)	5,55 (1,9)
Spannungslage*	5,76 (1,8)	5,67 (1,9)	5,72 (1,7)	5,42 (1,6)	5,42 (1,7)	5,55 (1,7)
Erholtheit	6,28 (1,6)	6,67 (2,0)	5,40 (1,5)	6,63 (1,8)	6,32 (1,9)	5,30 (1,5)
Schläfrigkeit*	5,76 (1,9)	5,79 (1,9)	5,16 (2,4)	6,68 (1,9)	5,63 (1,7)	4,95 (2,4)

Anmerkung: *= umgepolte Skalen

Es waren keine signifikanten Altersunterschiede über die drei Erhebungszeitpunkte zwischen jung und alt vorhanden.

Eine signifikante zeitliche Veränderung der Hauptkategorie Motivation (siehe auch Abbildung im Methodenteil) war über die Zeit nicht zu finden. Eine genauere Betrachtung der Ergebnisse auf der Stufe der Faktoren der dritten Analyseebene des Hauptfaktors Motivation mittels Paarvergleichen hat für die älteren Versuchspersonen vom ersten zum zweiten Untersuchungstag eine signifikant niedrigere Selbstsicherheit ($p < .05$) und von der zweiten zur dritten Messung eine statistisch bedeutsame Erhöhung auf der Skala Selbstsicherheit ($p < .05$) ergeben. Bei den jüngeren Probanden zeigte sich in den letzten beiden Erhebungen eine bedeutsame Verringerung auf den Skalen Aktivation ($p < .05$; $p < .01$) sowie Anstrengungsbereitschaft ($p < .01$; $p < .05$) und Kontaktbereitschaft ($p < .01$; $p < .05$).

Die Werte der Hauptkategorie Beanspruchung verringern sich nur bei den Jüngeren signifikant in den letzten beiden Erhebungszeitpunkten ($p < .05$; $p < .01$), was aufgrund der Umpolung der Skalen stärkerer Beanspruchung entspricht. Bei der differen-

zierteren Betrachtung dieser Ergebnisse anhand der einzelnen Skalen der dritten Analyseebene des Hauptfaktors Beanspruchung fand sich in den letzten beiden Messungen eine signifikante Erhöhung bei Jung und Alt auf der Skala Defizienz ($p < .05$; $p < .05$). Für die Skala Erholtheit kam es bei den älteren Probanden in den letzten beiden Erhebungen zu einer Verringerung der Ausprägung auf dieser Skala ($p < .05$; $p < .05$). Bei den Jüngeren ist von Zeitpunkt zwei zu Zeitpunkt drei ebenfalls eine signifikant niedrigere Erholtheit ($p < .01$) gefunden worden.

9 Diskussion

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung war es, kognitive Verarbeitungsprozesse im Zusammenhang mit sogenannten exekutiven Funktionen des zentralen Nervensystems in Bezug auf Zeitdruck, wechselnde Aufgabenanforderungen und Altersunterschieden anhand von Leistungsparametern sowie für deren besseres Verständnis mittels elektrophysiologischen Parametern zu untersuchen. Eine Aufklärung kognitiver Prozesse im Sinne von exekutiven Mechanismen sollte erfolgen. Dazu wurde das Aufgabenwechelparadigma eingesetzt (Rogers & Monsell, 1995), welches die Möglichkeit bietet, Situationen zu erfassen, in denen der Anteil der exekutiven Kontrollprozesse besonders hoch ist. Die Versuchspersonen müssen dabei zwischen zwei Aufgabensets hin und her wechseln. Die exekutiven Kontrollprozesse werden durch die Untersuchung der sogenannten Kosten, d.h. der Anstiege in den Reaktionszeiten und die Zunahme der Fehlerraten in den Aufgabenwecheldurchgängen gegenüber den Aufgabenwiederholungsdurchgängen registriert (z.B. Jersild, 1927; Spector & Biederman, 1976; Allport et al., 1994; Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein et al., 2001). Theoretische Grundlage für diese Untersuchungen ist das Stufenmodell der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001).

Ergänzend hierzu war ein Ziel der Arbeit Aufklärung für die oftmals zu beobachtenden längeren Reaktionszeiten bei Älteren im Sinne der generellen Verlangsamung oder der selektiven Verlangsamung exekutiver- und Signalverarbeitungsprozesse zu finden.

Elektrophysiologische Parameter können neben den Leistungsdaten im Zeitverlauf zusätzliche Erkenntnisse für das weitere Verständnis liefern, da durch die Reaktionszeiten und Fehlerraten nicht alle Aspekte der kognitiven Prozesse erklärbar sind. EEG-Untersuchungen bieten den Vorteil, dass sie komplementär zu den Reaktionszeitstudien zu sehen sind, zum aktuellen Reizverarbeitungszeitpunkt gemessen werden können und aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung eine Einschätzung der „Online-Reizverarbeitung“ ermöglichen.

Ausgehend von diesen Zielstellungen wurde den folgenden zentralen Fragen nachgegangen: Wie verändern sich die Leistungsdaten in Abhängigkeit von Aufgabenwechsel, Zeitdruck und mit zunehmendem Alter? Welche Änderungen finden sich in den elektrophysiologischen Parametern bei Aufgabenwechseln, unter Zeitdruck und mit zunehmendem Alter?

Die hierzu in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Resultate zu den exekutiven Kontrollprozessen, elektrophysiologischen Parametern und Alterseffekten

werden im Folgenden in Bezug auf das Modell der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001) diskutiert.

Zunächst folgt eine kurze Beschreibung und Diskussion der Befunde zu den exekutiven Kontrollprozessen in ihrem zeitlichen Ablauf sowie der Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP). Danach werden die Resultate im Hinblick auf die Altersunterschiede eingehend erläutert und diskutiert.

Zur Erinnerung und für ein besseres Verständnis der folgenden Ausführungen wird das Modell der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001) noch einmal dargestellt.

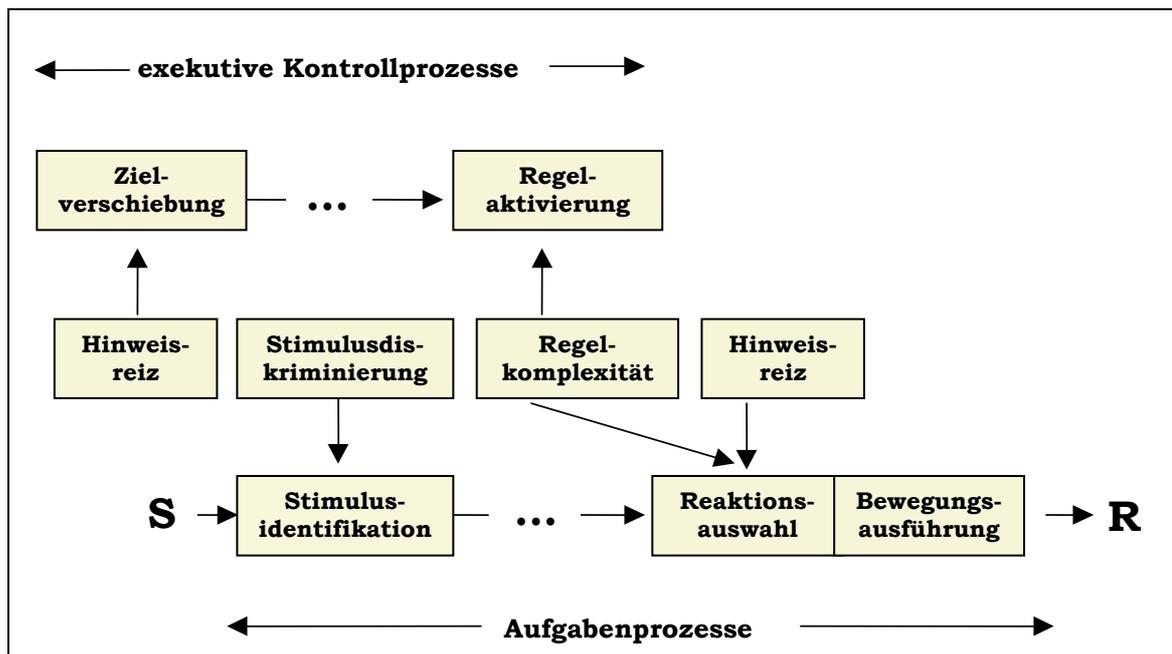


Abbildung 44: Stufenmodell der exekutiven Kontrolle, Rubinstein et al. (2001)

Die nachfolgenden Befunde, sowohl Reaktionszeiten als auch EKP, werden in Beziehung zu diesem Modell gesetzt.

9.1 Reaktionszeiten

In der vorliegenden Untersuchung wurde erneut bestätigt, dass ältere Erwachsene längere Reaktionszeiten aufweisen.

Das Stufenmodell der exekutiven Kontrolle (Rubinstein et al., 2001) konnte in Bezug auf die Wechselkosten nicht bestätigt werden. Den Autoren zufolge sind die exekutiven Kontrollprozesse ausschließlich am Aufgabenwechsel, nicht aber an der Aufgabenwiederholung beteiligt. Die Dauer der exekutiven Kontrolle, reflektiert durch die Wechselkosten, soll sich aus der Summe der Prozesse der Zielverschiebung und der Regelaktivierung ergeben.

Bei der Betrachtung der Aufgabenwechsel überrascht es zunächst, dass die Versuchspersonen die Antwort bei einem Aufgabenwechsel teilweise schneller bzw. in annähernd der gleichen Zeit geben konnten wie bei wiederholten Aufgaben. Lokale Wechselkosten konnten für beide Altersgruppen in geringem Maße bzw. nicht gefunden werden. Teilweise wurden in der vorliegenden Untersuchung sogar inverse Wechselkosten nachgewiesen. Ein Reaktionskonflikt des aktuellen mit dem vorangegangenen Aufgabenset scheint nicht aufzutreten, wie in der Task-Set-Inertia Hypothese von Allport et al. (1994) bzw. der Re-konfigurationsypothese von Rogers und Monsell (1995) postuliert wird.

Wie lassen sich diese Ergebnisse erklären? Wie zuvor im Modell von Rubinstein et al. (2001) beschrieben, müssten demnach die fehlenden Wechselkosten auf Umstellungsprozesse in der Ebene der Reizklassifizierung und der Antwortgenerierung zurückzuführen sein. Der angekündigte Aufgabenwechsel mittels Hinweisreiz veranlasst die Versuchsperson, vorbereitend das bekannte Aufgabenschema zu hemmen, wodurch gleichzeitig die vorangegangene Reaktion inhibiert wird. Geänderte Reaktionen können somit schneller erfolgen als gleich gebliebene. Eine Hemmung des Aufgabenschemas zieht demnach immer eine Hemmung der Antwort nach sich. Die unterschiedliche Schwierigkeit bei der Bearbeitung des Stimulus führt zu Differenzen in den Reaktionszeiten, so z.B. zu längeren Reaktionszeiten für den numerischen Vergleich und die Bedingung ohne Zeitdruck. Es scheinen somit andere kognitive Verarbeitungsprozesse abzulaufen.

Ein weiterer Faktor ist das Vorhandensein eines expliziten Hinweisreizes in dieser Untersuchung. Einen Beleg für die Bedeutung des expliziten Hinweisreizes liefern die Ergebnisse von Krämer (2002). Diese Untersuchung erfolgte mit dem gleichen Untersuchungsdesign wie die vorliegende Studie. Einzige Ausnahme ist der Einsatz eines impliziten Hinweisreizes. Hier wurden Wechselkosten gefunden. Die Vorbereitung durch den expliziten Hinweisreiz ist anscheinend sehr effektiv, so dass durch diesen die Wechselkosten zum Teil vollständig eliminiert wurden und eine schnelle Reaktion auf die Aufgabe möglich war. Der explizite Hinweisreiz scheint somit einen wesentlichen Einfluss auf die Wechselkosten zu haben.

Nach dem Modell von Rubinstein et al. (2001) hat der explizite Hinweisreiz zur Folge, dass die Zielverschiebung und die Regelaktivierung überlagert und zusammen mit dem Hinweisreiz auf den endogenen Anteil begrenzt sind.

Als eine weitere Ursache für das Nichtauftreten der signifikanten Wechselkosten in beiden Gruppen könnte das Cue-Stimulus-Interval (CSI) von 1500 ms angenommen

werden. Ausgehend davon, dass bei einem langen CSI die Versuchspersonen ausreichend Zeit haben das jeweilige Aufgabenset vollständig vorzubereiten, wird nach dem Modell von Rubinstein et al. (2001) in dieser Vorbereitungsphase das neue Aufgabenset in das Arbeitsgedächtnis geladen. Allerdings konnten Untersuchungen von Meiran und Mitarbeitern (2000) sowie De Jong et al. (1999) zeigen, dass trotz Verringerung der Wechselkosten mit zunehmendem CSI immer noch residuale Kosten auftreten. Eine Verringerung der Wechselkosten kann aber auch durch Verlängerung des Response-Cue-Interval (RCI) erreicht werden. Hier kommt es in Erwartung des Hinweisreizes zum Zerfall des vorhergehenden Aufgabensets (Meiran et al., 2000). Mit einem Intervall von 1000 ms, wie in der vorliegenden Untersuchung, tritt offensichtlich eine Reduzierung der Wechselkosten auf, was allerdings den Wegfall bzw. das Auftreten von negativen Wechselkosten nicht erklären kann.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass Wechselkosten auch bei einem Response-Stimulus-Interval (RSI) von 3000 ms (Meiran, Chorev & Sapier, 2000) bzw. 3500 ms (Sohn, Ursu, Anderson, Stenger & Carter, 2000) noch vorhanden sind. Diese residualen Wechselkosten implizieren bei einem schnellen Wechsel von einer zu einer anderen Aufgabe fundamentale Beschränkungen der exekutiven Kontrolle. Nach den Resultaten der vorliegenden Studie ist anzunehmen, dass die beschriebenen Beschränkungen hier offenbar nicht auftreten.

Eine weitere Möglichkeit ist, dass das Zusammenspiel der Länge des CSI und der Art des Hinweisreizes zu fehlenden Wechselkosten führt. Nach Rubinstein et al. (2001) wird durch den Hinweisreiz die Zielverschiebungsphase verkürzt, was auch in dieser Untersuchung verdeutlicht werden konnte. Ein langes CSI in Kombination mit Hinweisreizen ermöglicht eine längere Vorbereitung. Möglicherweise ist genau diese Kombination von CSI und Hinweisreiz so vorteilhaft für die Versuchspersonen, dass keine Wechselkosten entstehen.

Der Wechselprozess selbst ist mit dem Abrufen der gegenwärtigen Aufgabe aus dem Gedächtnis und deren Einbindung in den Fokus der Aufmerksamkeit belastet.

In einigen Untersuchungen werden inverse Wechselkosten berichtet (Meiran et al., 2000, Gerjets & Rummer, 1999). In der Studie von Meiran et al. treten im zweiten Experiment inverse Wechselkosten bei einem RCI von 132 ms und 532 ms und einem CSI von 2016 ms auf. Die Autoren sind daher der Meinung, dass Aufgabenwechselkosten nicht als Index eines Einzelprozesses und nicht als Messung der exekutiven Kontrolle gelten sollten. Ihre Resultate sprechen dafür, dass die Zerfallskomponente im

Aufgabenwechsel keine kognitive Kontrolle reflektiert. Dem scheinen die vorliegenden Resultate zu entsprechen.

Weiterhin zeigt eine Untersuchung von Gerjets und Rummer (1999) im zweiten Experiment inverse Wechselkosten. Erklärt wird dieser inverse Wechselkosteneffekt mit der Aufgabe, die ihrer Meinung nach keinen Wechsel von A nach B oder umgekehrt anzeigt, sondern mehrere verschiedene Aufgabentypen (A-B-C). Die Aufgabenmatrix war in Additions-, Subtraktions- und Multiplikationsaufgaben unterteilt. Dieser Erklärungsansatz erscheint auch im Hinblick auf die vorliegende Arbeit sinnvoll. Dies könnte bedeuten, dass mit dem Hinweisreiz so viele Informationen gegeben werden, dass die Aufgaben nicht mehr als zwei Aufgaben A und B sondern als unterschiedliche Aufgaben betrachtet werden könnten. Der Hinweisreiz informiert die Probanden über Wechsel, Zeitdruck und Vergleich (2x2x2 Design). Aus dem Untersuchungsdesign ergeben sich acht Hinweisreizmöglichkeiten. Diese Häufung von Informationen kann möglicherweise dazu geführt haben, dass jede Aufgabe nur noch einzeln betrachtet wird und die anderen Informationen an Relevanz verlieren. Es würde bedeuten, dass eine Untersuchung mit mehrdimensionalen Hinweisreizen zu inversen Wechselkosten führen kann.

Diese Annahmen untersetzt eine Untersuchung von Kray et al. (2002). Sie beobachteten eine Zunahme der Aufgabenunsicherheit, wenn die Anzahl der Aufgabensets erhöht wurde. Eine solche Aufgabenunsicherheit könnte mit der Vielzahl von Informationen, die der Hinweisreiz den Probanden aufzeigt, auch in der hier durchgeführten Studie auftreten und folglich verhindern, dass der Aufgabenwechsel Kosten verursacht, da jede Aufgabe für sich betrachtet und behandelt wird.

Ist der Ablauf des Experiments nicht vorhersehbar, bleibt der Aufwand für die Hemmung weniger stark, da die Versuchsperson jederzeit mit einem Aufgabenwechsel rechnen muss. Es erfolgen schwächere Aktivierungs- und Inhibitionsprozesse. Wechselkosten treten nicht auf, da der Vorzug, den die Aufgabenwiederholung gegenüber dem Aufgabenwechsel bietet, d.h. die Präsentation gleicher Aufgaben, nicht genutzt wird. Somit trifft die Inhibitionshypothese (z.B. Norman & Shallice, 1986) nicht mehr zu, d.h. das vorherige Aufgabenset wird nicht gehemmt. Die Inhibition hat infolgedessen keinen Einfluss auf die neue Aufgabe. Die zeitliche Verbindung zwischen den Aufgaben zerfällt. Es ist allerdings an dieser Stelle anzumerken, dass diese fehlende Differenzierung der Aufgaben für diese Untersuchung eher als unwahrscheinlich anzusehen ist, denn die Probanden waren durch Übungsblöcke an die experimentelle Prozedur gewöhnt. Dennoch kann die dargelegte kritische Interpretation bezüglich der vorhandenen Unterschiede nicht gänzlich außer Acht gelassen werden.

Differenzierter für die Interpretation der Daten muss jedoch ein weiteres mögliches Verhalten der Probanden betrachtet werden. Es könnte sein, dass die Probanden ständig einen Aufgabenwechsel einkalkulieren, d.h. keinen *Repetition Benefit* haben. Möglicherweise war für sie der Ablauf des Experiments nicht immer vorhersagbar. Die aktuelle Aufgabe wurde deshalb immer inhibiert. Der Aufwand für die Hemmung bleibt weniger stark, denn die Versuchspersonen müssen jederzeit mit einem Aufgabenwechsel rechnen. Das weniger stark inhibierte Schema zur alternativen Aufgabe lässt sich durch einen Reiz nun leichter aktivieren. Es resultiert proaktive Interferenz. Kommt es zu einer Aufgabenwiederholung, muss dieser Inhibitionsprozess rückgängig gemacht werden. Das führt vermutlich zu einem erhöhten Zeitaufwand in der Wiederholungsbedingung und zu geringen bzw. keinen oder sogar negativen Wechselkosten.

Eine andere mögliche Ursache ist, dass die Versuchspersonen optional auf Wechsel reagieren, d.h. der Vorteil (*Repetition Benefit*) der Aufgabenwiederholung ist für den einen vorhanden und für den anderen nicht. Dafür spricht, dass einige Versuchspersonen Wechselkosten aufweisen andere dagegen nicht. Die Versuchspersonen ohne Wechselkosten ignorieren vermutlich Wechsel und Wiederholung bzw. sie erkennen die beiden Bedingungen nicht. Jeder Vergleich wird demnach individuell nach dem jeweils geforderten Aufgabenset durchgeführt. Andere Versuchspersonen haben möglicherweise bemerkt, dass es Wechsel- und Wiederholungsbedingungen gibt und ziehen daraus ihren Nutzen für sich, welcher sich im *Repetition Benefit* bzw. in Wechselkosten zeigt. Analysen von Einzeldaten sollten in Zukunft mehr beachtet werden, da von ihnen mehr Aufschluss im Hinblick auf die Wechselkosten zu erwarten ist.

Die Failure-To-Engage-Hypothese von De Jong (2001) postuliert die optionale Vorbereitung, sie ist nützlich aber nicht notwendig. Kommt es zur Vorbereitung, so ähneln die Wechselaufgaben den Wiederholungsaufgaben. Dies scheint sich in den Resultaten der hier dargestellten Untersuchung zu bestätigen. Nach De Jong sind Wechselkosten auf ein gelegentliches Versäumen der Aufgabenvorbereitung zurückzuführen, was (wie in der hier vorliegenden Studie deutlich wird), keinen Vorteil für die Probanden bedeutet. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stützen diese Vermutung. Die Annahme von Sohn und Anderson (2001), dass Wechselkosten auf versäumter Vorbereitung oder *Repetition Benefit* beruhen, kann dahingehend interpretiert werden, dass die Personen sich in dieser Untersuchung durch den Hinweisreiz sehr gut vorbereitet haben, dagegen aber keinen *Repetition Benefit* haben auf dem die residualen Wechselkosten beruhen. Der *Repetition Benefit* ist bei stärkerer Aktivierung, die auch durch den Hinweisreiz ausgelöst wird, vermutlich geringer. Bei den Älteren ist

die Aktivierung anscheinend noch stärker als bei dem Vergleich der jüngeren Versuchspersonen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde entsprechend dem Rubinsteinmodell davon ausgegangen Wechselkosten zu finden. Das Auftreten von Wechselkosten scheint jedoch an unterschiedliche Bedingungen gebunden zu sein, die in Zukunft näher untersucht werden müssen. Auch andere Untersuchungen deuteten dies schon an.

9.1.1 Fehler und Missings

Wie die Ergebnisse verdeutlichen, wurden für die Versuchspersonengruppen insgesamt, unabhängig von den jeweiligen Bedingungen, geringe Fehlerzahlen registriert. Altersunterschiede in den Fehlerraten konnten nicht gefunden werden. Die vorliegenden Resultate stützen die von Allport et al. (1994), Rogers und Monsell (1995) und Rubinstein et al. (2001) erbrachten Resultate zu Fehlern, jedoch nicht die Hypothese.

Nach der Fehlerhypothese von De Jong (2001) ist die Wahrscheinlichkeit Fehler zu machen bei einer geringeren CNV höher, was die Ergebnisse dieser Arbeit belegen konnten (siehe 9.2.3).

Es wurden unterschiedliche Resultate in den Leistungsparametern zwischen Trials mit numerischem Vergleich und Trials mit Schriftgrößenvergleich vermutet. Die Aufgabeninstruktion Vergleich nach dem numerischen Wert und nach der Schriftgröße wirkte sich auf die Fehleranzahl aus. Es wird zum einen davon ausgegangen, dass der Schriftgrößenvergleich mehr Zeit in Anspruch nimmt und höhere Fehlerraten aufweist als der numerische Vergleich. Begründet wird dies durch die Annahme, dass die Gedächtnisbelastung beim Memorieren der Schriftgröße für die Probanden höher ist. Weiterhin wird angenommen, dass Ziffern eher mit geläufigen mathematischen Operationen in Verbindung gebracht werden.

Zum anderen wird angenommen, dass ein Größenvergleich schneller und einfacher durchführbar ist, da dieser Vergleich entwicklungsgeschichtlich gesehen älter ist als der numerische Vergleich und im Alltag häufiger Anwendung findet. Des weiteren ist der numerische Vergleich mit komplexeren kognitiven Funktionen verbunden. Die signifikanten Unterschiede in der Bedingung Vergleich weisen darauf hin, dass diese Aufgabenbedingung für die Probanden die am schwierigsten zu lösende war. Für die Bedingung numerischer Vergleich zeigten sich höhere Fehlerraten. Es scheint sich zu bestätigen, dass der entwicklungsgeschichtlich ältere Größenvergleich immer noch schneller durchgeführt werden kann. Dies könnte ein Nachweis dafür sein, dass auch heute noch die Bewertung von Objekten nach ihrer Größe relevanter ist und häufiger durchgeführt wird als die numerische Beurteilung. Ausgehend von diesen Erklärungen

sollte im Stufenmodell der exekutiven Kontrolle (Rubinstein et al., 2001) der Faktor Vergleich im Aufgabenprozess der Stimulusidentifikation zu finden sein und Auswirkung auf die Stimulusverarbeitung haben.

Zu beachten ist, dass die Fehlerangaben für die Zeitdruckbedingung durch die erhöhte Anzahl an Missings (d.h. in einem bestimmten Zeitfenster nicht geschaffte Antworten) verfälscht sein können, die bei diesen Daten zu verzeichnen waren.

Die Anzahl der Missings (nicht zeitgerecht absolvierte Antworten) unterscheidet sich in den Untersuchungsgruppen nicht, jedoch in den einzelnen Bedingungen. Die meisten Missings sind in der Bedingung Zeitdruck und den Bedingungsvariationen mit Zeitdruck zu finden. Alle Probanden konnten unter Zeitdruck die Antworten nicht immer im vorgegeben Zeitfenster geben. Da die Probanden durch die Methodik des Experimentes jedoch an ihrer individuellen Leistungsgrenze arbeiten sollten, ist dieses Ergebnis verständlich. Eine Überprüfung der Missings ergab, dass diese sich sowohl im Wechsel als auch in der Wiederholung, nicht voneinander unterschieden. Signifikant mehr Missings sind jedoch beim Größenvergleich für beide Altersgruppen aufgetreten. Zu beachten ist, dass es sich hier um die nicht beantworteten Aufgaben innerhalb des Zeitfensters handelt. Warum haben die Probanden nicht geantwortet? Es ist durchaus möglich, dass die Versuchspersonen nach dem Signalton noch die richtige Antwort gegeben haben. Wenn nicht, wäre es ebenso interessant, die Fehler außerhalb des Zeitfensters zu untersuchen. Nach dem Zeitfenster ist in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht mehr aufgezeichnet worden.

9.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Im Hinblick auf die Ereigniskorrelierten Potentiale sollte in der vorliegenden Untersuchung der Frage nachgegangen werden, ob sich altersbedingte Änderungen hinsichtlich Aufgabenwechsel und Zeitdruck auf elektrokortikaler Ebene im ereigniskorrelierten Potential nachweisen lassen.

Wie bilden sich Aufgabenwechsel und Zeitdruck in Wechselwirkung mit dem Alter in den Parametern der ereigniskorrelierten Potentiale ab, speziell in den Amplituden der P300 und der CNV? Es wurden Veränderungen zwischen den Amplituden in den Bedingungen Zeitdruck vs. kein Zeitdruck sowie Aufgabenwechsel vs. Aufgabenwiederholung erwartet.

9.2.1 Amplituden auf den Hinweisreiz

Die mittleren Amplituden bezogen auf den Hinweisreiz über die drei Zeitbereiche von 300 ms bis 700 ms weisen für die jüngeren Versuchspersonen im Gegensatz zu den

älteren Probanden eher auf eine Negativierung über die Zeit hin. Diese Negativierung kann als sogenannte Orientation Wave angesehen werden und wird von einer Positivierung überlagert. Es scheint als ob die Jüngeren eher selektiv reagieren. Dagegen beginnen die älteren Erwachsenen im Gegensatz zu den jüngeren Erwachsenen offenbar eher mit der Vorbereitung. Das stellt sich, wenn auch nicht in allen Zeitbereichen für Wechsel und Zeitdruck ebenso dar.

Insgesamt sind für die einzelnen Bedingungen - nach dem Hinweisreiz jedoch noch vor der Stimuluspräsentation - Amplitudenunterschiede hinsichtlich der einzelnen Bedingung und des Alters zu finden. Diese Unterschiede sind im dritten Zeitbereich am deutlichsten sichtbar. Das bedeutet, dass eine Differenzierung nach den einzelnen Bedingungen bereits kurz nach der Präsentation des Hinweisreizes in den Ereignis-korrelierten Potentialen sichtbar wird.

9.2.2 P300 auf den Stimulus

Der Anstieg der P300-Amplitude reflektiert eine Erhöhung des kognitiven Aufwandes, im Sinne von zunehmenden Ressourcenanforderungen. Für Kramer, Schneider, Fisk, Donchin (1986) spiegelt sich in der Ausprägung der P300-Komponente die Inanspruchnahme der für die Aufgabenausführung notwendigen Ressourcen wider.

Die Topographie der P300-Amplitude der vorliegenden Resultate entspricht im wesentlichen den Hypothesen dieser Arbeit. Die P300, die auf den Stimulus folgt, wird von der CNV, welche schon vorher begonnen hat, überlagert. Für den Aufgabenwechsel ist die P300 hypothesenkonform, unabhängig vom Alter, positiver als für die Aufgabenwiederholung. Aufgabenwechsel und -wiederholung zeigen größere Amplituden an den parietalen als an den zentralen Elektrodenpositionen, die wiederum größer als an den frontalen Elektrodenpositionen sind. Wie auch in anderen Studien (z.B. Johnston et al. 1986, Johnston & Wang, 1991) zeigen sich an den parietalen Elektrodenpositionen im P300-Bereich größere positive Reaktionen. In der P300 manifestiert sich der Umfang der für die Aufgabenausführung notwendigen Verarbeitungsressourcen. Das bedeutet für den Aufgabenwechsel erhöhte Ressourcenanforderungen, da diese Bedingung schwerer auszuführen ist als die Wiederholungsbedingung.

Unter Zeitdruck wird aufgrund des erhöhten Aktivierungsniveaus eine stärkere P300 ausgelöst. Der Zeitdruck bedingt allgemein ein höheres Aktivierungsniveau und somit eine erhöhte Kapazität, die den Probanden zur Verfügung steht. Im Zusammenhang mit der CNV zeigt sich, dass sich in der Zeitdruckbedingung bereits während der Vorbereitung Unterschiede in den Amplituden im Vergleich zur Bedingung ohne Zeitdruck finden lassen, die sich in der P300-Amplitude fortsetzen. Hier muss darauf

hingewiesen werden, dass eine hohe CNV oft eine hohe P300 bewirkt. Zum einen ist dies elektrophysiologisch durch einen Rebound-Effekt, zum anderen auch inhaltlich zu erklären. Wenn ein höheres Maß an Kapazität auf den Stimulus gelenkt wird, ist auch die P300 stärker ausgeprägt. Die Hypothese der kleineren Amplituden für die älteren Erwachsenen aufgrund des Kapazitätsabzuges für die Bewältigung der Aufgabe konnte bestätigt werden.

Anhand der bislang dargestellten Ergebnisse werden die Verarbeitungsunterschiede zwischen den Bedingungen Zeitdruck versus kein Zeitdruck sowie Wechsel und Wiederholung deutlich. Zeitdruck und Wechsel lösen eine stärkere P300 aus. Im Gegensatz dazu ist die von den Bedingungen ohne Zeitdruck und Wiederholung evozierte P300 geringer.

Diese Befunde stützen eine Annahme von Rösler (1982), der einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung des P300-Komplexes und der Extensität geforderter handlungsrelevanter Operationen sieht. Kontrollierte Verarbeitung erfordert ein bestimmtes Maß an Kontrollkapazität, im Sinne einer zur Aufgabenausführung notwendigen Energie. Die Amplitude der P300 kovariert mit dem Kapazitätsbedarf, d.h. mit dem Umfang der kontrollierten Operationen. Demzufolge scheinen Zeitdruck und Aufgabenwechsel einen erhöhten Kapazitätsbedarf zu erfordern.

Im Sinne des Stufenmodells der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001) führt die Zielverschiebung bei einem Aufgabenwechsel zu einer größeren P300. Während der Regelaktivierung wird der Wechselbedingung erhöhte Kapazität zugewendet. Elektrophysiologisch kann eine Überlagerung mit der Stufe der Stimulusidentifikation angenommen werden.

9.2.3 Contingent Negative Variation (CNV)

Für die CNV finden sich unter Zeitdruck höhere Amplituden als ohne Zeitdruck. Somit sprechen die Ergebnisse dafür, dass sich die kognitiven Vorbereitungsprozesse in diesen Bedingungen unterscheiden. Erwartungsgemäß ist die CNV bei den Jüngeren kleiner, da anscheinend der Prozess der Kapazitätszuwendung verzögert wird, also die Vorbereitung später einsetzt als bei den Älteren.

Ebenfalls hypothesenkonform ist die CNV wie erwartet tendenziell vor einem Aufgabenwechsel größer als vor einer Aufgabenwiederholung. Anscheinend erfolgt während der Periode der CNV eine Kompensation von Wechsel und Wiederholung. Damit wird vermutlich eine bessere Vorbereitung möglich. Das könnte zu den annähernd gleichen Reaktionszeiten für Wechsel und Wiederholung geführt haben. Im Hinblick auf das Stufenmodell der exekutiven Kontrolle von Rubinstein und Mitarbeitern (2001) könnte es darauf hindeuten, dass die Prozesse der Zielverschiebung und

Regelaktivierung auf die Vorbereitung und somit vor die Stimuluspräsentation vorverlagert wurden. In Abbildung 45 ist eine nach den Resultaten der vorliegenden Untersuchung modifizierte Darstellung des Modells aufgeführt. Die CNV tritt nach Erscheinen des Hinweisreizes auf. Deshalb ist es wahrscheinlich möglich, dass sowohl die Zielverschiebung als auch die Regelaktivierung mit dem Auftreten des Stimulus bereits abgeschlossen sind. Die Stimulusverarbeitung findet unter Berücksichtigung der Regelaktivierung statt und wird gefolgt von der Reaktionsauswahl.

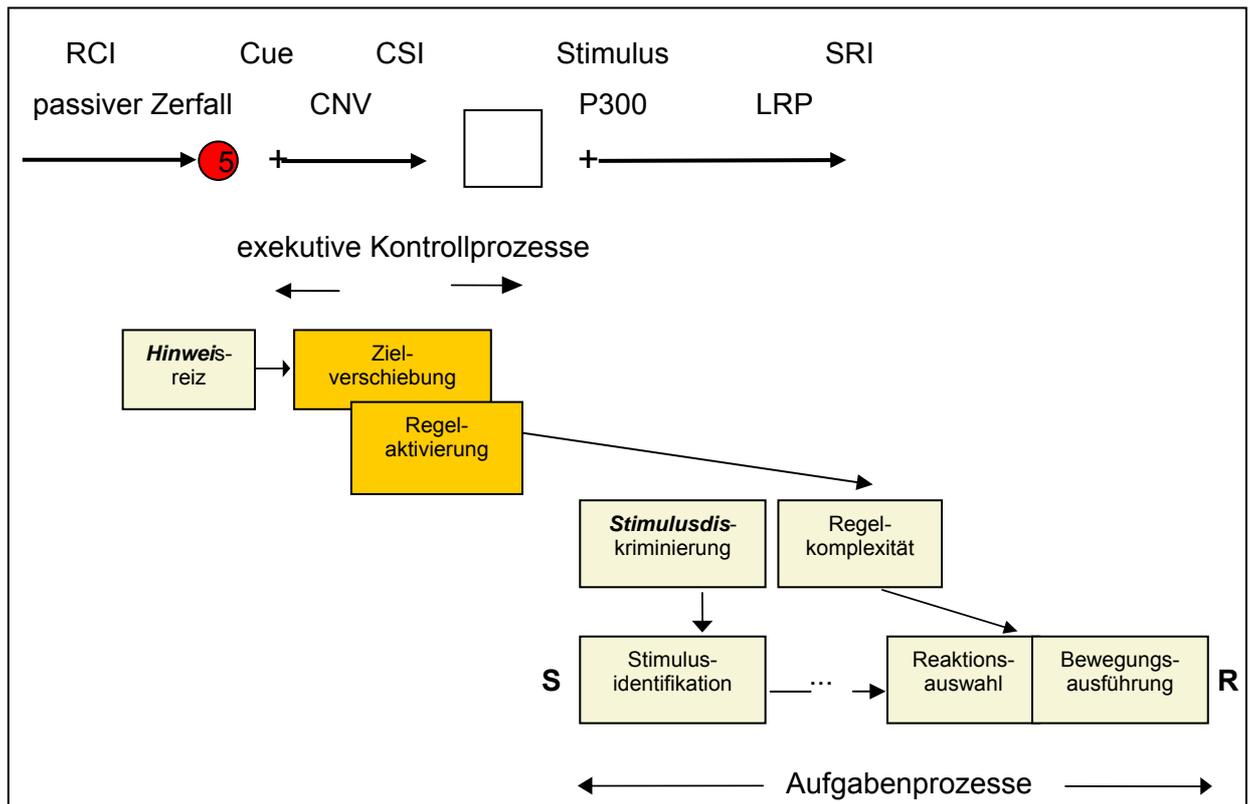


Abbildung 45: Ablauf des Reaktionszeitexperiments im Zusammenhang mit einer modifizierten Version des Stufenmodells der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001)

Bei Vorhandensein eines Hinweisreizes ist mit der CNV das Wissen, was von den Versuchspersonen gefordert wird bereits vorhanden bzw. der Prozess des Wechsels anscheinend schon abgeschlossen. Durch den Hinweisreiz ist eine erhöhte Kapazität vorhanden. Es kann somit mehr Aufmerksamkeit auf den Wechsel als auf die Wiederholung gelegt werden. Die Resultate verdeutlichen, dass das Wissen um einen Aufgabenwechsel zu verstärkter Hinlenkung der Kapazität führt. Dies führt zu höheren Amplituden für die Wechselbedingung. Der Hinweisreiz hat vermutlich einen Einfluss auf die Größe der CNV-Amplitude, da mit ihm spezifische Informationen zum Zeitdruck, zum Wechsel und zum Vergleich gegeben werden. Bei einer allgemeinen Aktivierung sollten demzufolge keine Amplitudenunterschiede auftreten.

Es zeigt sich, dass sich die älteren und jüngeren Versuchspersonen in den CNV-Daten und Reaktionszeiten (wie zuvor schon beschrieben) unterscheiden, aber die Art und Weise wie sie Aufgaben bearbeiten anscheinend relativ homogen ist. Diese Befunde folgen einer Untersuchung von Meyer et al. (2001), die keine Unterschiede in der sogenannten „kognitiven Software“ finden. Die Autoren gehen davon aus, dass jüngere und ältere Erwachsene prinzipiell gleich reagieren und bei der Verarbeitung keine anderen Prozesse ablaufen. Dies würde bedeuten, dass die Reaktionszeitdaten und die Daten zu den ereigniskorrelierten Potentialen keinen direkten Rückschluss auf Unterschiede in der Aufgabenverarbeitung zwischen jung und alt zulassen. Die höheren Amplituden in den CNV-Daten der Älteren weisen jedoch darauf hin, dass ältere Erwachsene länger im Prozess der Vorbereitung verweilen. Beide Altersgruppen nutzen vermutlich identische oder ähnliche Regelsets, deren Ausführung jedoch in einer unterschiedlichen Anzahl von Zyklen abläuft (Meyer et al., 2001). Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass Meyer et al. keine Untersuchung der EKP vorgenommen haben. Die vorliegende Untersuchung ist hingegen in der Lage anhand der EKP Unterschiede in der Aufgabenverarbeitung, die Meyer und Mitarbeiter in den Reaktionszeiten nicht finden konnten, nachzuweisen.

Entsprechend der CNV-Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass ältere Erwachsene stärker von der Vorinformation zu profitieren scheinen als jüngere Erwachsene. Die Resultate in den elektrophysiologischen Daten zeigen eindeutige Unterschiede zwischen jungen und älteren Probanden. Damit kann bestätigt werden, dass elektrophysiologische Messungen geeignet sind, Ergebnisse der Reaktionszeitdaten zu belegen bzw. zu untermauern. Teilweise werden Effekte durch die Amplituden der CNV transparent, die allein durch die Messung der Reaktionszeiten nicht beobachtbar sind.

Zusammenfassend konnte in dieser Untersuchung erneut gezeigt werden, dass beim Aufgabenwechsel andere kognitive Prozesse ablaufen als bei der Aufgabenwiederholung. Nachgewiesen werden konnte dies anhand der elektrophysiologischen Parameter, speziell der CNV. Die grundsätzliche Struktur des Wechsels ist vorhanden. Dies äußert sich in einer höheren Negativierung für den Wechsel. Die Bedeutung von elektrophysiologischen Messungen als Untermauerung der Reaktionszeitdaten konnte bestätigt werden.

Die Resultate legen allerdings den Schluss nahe, dass die Wechselkosten im Hinblick auf die Reaktionszeiten scheinbar nicht der geeignete Parameter für die Messung der exekutiven Kontrolle ist. Der Parameter Wechselkosten lässt sich über

die Reaktionszeiten nur schwer abbilden oder ist bei komplexen Aufgaben in Frage gestellt. Dies stimmt mit der Aussage von Meiran et al. (2000) überein, die Wechselkosten nicht als einen geeigneten Index für die Messung der exekutiven Kontrolle ansehen.

Für die hier durchgeführten kognitiven Entscheidungsaufgaben konnten keine Wechselkosten gefunden, aber der Nachweis des Einflusses der Vorbereitung erbracht werden. Demnach fallen bei der Vorbereitung auf einen Aufgabenwechsel die Kosten für die internale Komponente in das Vorbereitungsintervall.

Mittels der Messung der Ereigniskorrelierten Potentiale können zum Zeitpunkt der Verarbeitung des Reizes tatsächlich auftretende Verarbeitungsunterschiede registriert werden.

9.3 Alterseffekte

Deutlich wird in dieser Untersuchung aber dennoch die mit steigendem Alter zunehmende Altersvariabilität (Berkman, 1988), die von verschiedenen Bedingungen abhängig ist. Es fanden sich ältere Probanden, die das Leistungsniveau der Besten jüngeren Probanden erreichten.

Es konnte bestätigt werden, dass ältere Versuchspersonen in den Reaktionszeitaufgaben insgesamt signifikant langsamer reagieren als Jüngere. Die Resultate der vorliegenden Arbeit konnten generell einen höheren kognitiven Aufwand unabhängig von der Bedingung für die älteren Erwachsenen nachweisen. In den Fehlern und Missings konnten keine Altersunterschiede gefunden werden (siehe 9.1.1).

Gezeigt werden konnte ebenfalls, dass die Wiederholungsbedingung weniger kognitiven Aufwand als die Wechselbedingung erfordert. Diese Resultate sind in beiden Altersgruppen vorhanden, bei den älteren Erwachsenen sind die Amplituden bei einer Aufgabenwiederholung jedoch stärker ausgeprägt als bei den jüngeren Erwachsenen. Dies weist auf weniger Anstrengung in der Aufgabenwiederholungsbedingung hin. Die Wechselbedingung dagegen benötigt einen größeren kognitiven Aufwand für die Lösung der Aufgabe. Auf Alterseffekte im Hinblick auf die ereigniskorrelierten Potentiale (P300 und CNV) ist teilweise schon in den vorherigen Abschnitten eingegangen worden.

In Bezug auf die Ausprägung der P300 werden individuelle Veränderungen mit zunehmendem Alter vermutet (Picton et al., 1984). Es wird angenommen, dass ein wesentlicher Anteil der Reaktionsverzögerungen im Alter die späteren reaktionsbezogenen Prozesse betrifft oder durch die Veränderung der Strategien im Alter (z.B. eine verstärkte Genauigkeit) auftritt. Die Amplitude der parietalen P300 spiegelt vor allem den Grad der einer Aufgabe zugeordneten Verarbeitungsressourcen wider

(Manzey, 1997). Ford und Pfefferbaum (1991) gehen davon aus, dass dieses Phänomen bei Älteren wegen der altersbedingten Verringerung der frontalen Negativierung zustande kommt. Dieser Mechanismus könnte somit für die positive Verschiebung der EKP-Komponente vor dem P300-Komplex verantwortlich sein. Dafür sind Veränderungen im frontalen Kortex verantwortlich. Die frontale Negativität wird als Prozessnegativität bzw. als Reflektion von Inhibitionsmechanismen interpretiert (z.B. Zeef & Kok, 1993). Ein weiterer Aspekt ist die Erhöhung der zentralen Negativitäten bei Älteren (Zeef & Kok, 1993). Diese werden als Ausdruck angestrenzter kontrollierter Verarbeitung interpretiert, die demnach bei Älteren verstärkt ist (Kok & Zeef, 1991). Eine generelle Verlangsamung konnte ebenfalls nicht gefunden werden. Es wird die Vermutung der selektiven Verlangsamung exekutiver Prozesse und Signalverarbeitungsprozesse gestützt. Veränderungen auf elektrokortikaler Ebene bei der Verarbeitung konnten allerdings nachgewiesen werden.

Eine weitere Ursache für die relativ geringen Altersunterschiede in den einzelnen Bedingungen ist in der Stichprobenszusammensetzung zu sehen. Da in der Stichprobe die erwerbstätige Bevölkerung untersucht wurde, konnten nur Personen bis zum 65. Lebensjahr rekrutiert werden. Dies erwies sich als problematisch, da im Moment der Eintritt in das Rentenalter bei ca. 60 Jahren liegt. Mit einem Altersdurchschnitt von 54,3 Jahren war die Stichprobe der Älteren gegebenenfalls zu jung um den Alterseffekt zu verdeutlichen. Das wird deutlich, wenn die Studien, in denen Altersveränderungen im Zusammenhang mit Reaktionszeitaufgaben untersucht wurden, betrachtet werden. Der Altersdurchschnitt liegt hier bedeutend höher (z. B. Kramer et al, 1999; Kray et al., 2002).

Eine weitere Voraussetzung für die vorliegende Untersuchung war, ein stabiler Gesundheitszustand der Probanden. Auch diese Bedingung lässt sich mit zunehmendem Alter schwieriger realisieren, was Einschränkungen in der Stichprobenauswahl zur Folge hatte. Zu bedenken ist gleichfalls, dass sich die untersuchte Stichprobe vorwiegend aus Personen zusammensetzt, die überwiegend geistigen Tätigkeiten nachgehen.

Ebenfalls muss die verminderte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1986) als eine Ursache für die altersbedingte Verlangsamung in Betracht gezogen werden.

Im vorliegenden Experiment konnte gezeigt werden, dass Ältere eine generell erhöhte Grundanspannung und damit eine erhöhte Aktivierung bereits vor der Durchführung der Untersuchung aufwiesen.

Meyer et al. (2001) haben ein Modell ähnlich dem von Rubinstein et al. (2001) zum kognitiven Altern vorgestellt. Das EPIC-Modell (Executive-Process Interactive Control) wurde formuliert um die Ausführung von multiplen Aufgabenanforderungen zu modellieren. Es ist gut geeignet um die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Arbeitsgedächtniskapazität, die Dual Task Performance und andere kognitive Fähigkeiten in ihrem Wechsel mit dem Alter zu beschreiben.

Die Autoren gehen davon aus, dass ältere Erwachsene die Regeln weniger effizient nutzen und deshalb mehr Zyklen benötigen als Jüngere. Diese Ineffizienz wird damit begründet, dass ältere Erwachsene konservative Aufgabendurchführungsstrategien bevorzugen (Botwinick, 1966). Eine andere Möglichkeit ist, dass der Grad des Fähigkeitserwerbs bei älteren Erwachsenen geringer ist als bei Jüngeren (Strayer & Kramer, 1994). Dies lässt sich auf die vorliegende Untersuchung übertragen, da konservative Durchführungsstrategien zu erhöhten Reaktionszeiten, aber nicht zu erhöhten Fehlerzahlen führen sollten, was bestätigt werden konnte.

Auch in Bezug auf die Aufgabenregeln wird eine ineffiziente Nutzung der Sets von Produktionsregeln für die individuelle Aufgabe angenommen, was eine verlangsamte Aufgabendurchführung zur Folge hat. Für die exekutiven Regelsets wird für die Älteren ebenso weniger Effizienz postuliert (Mayr & Kliegl, 1993). In der vorliegenden Untersuchung werden diese Annahmen nur bedingt durch die Reaktionszeiten, in den EKP-Daten dagegen deutlicher, gestützt.

Die Verringerung in den Motorprozessoren konnte in der Diplomarbeit von Schwarz (2003) mit Hilfe des lateralisierten Bereitschaftspotentials bereits nachgewiesen werden. Angesichts der Resultate in dieser Untersuchung kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmendem Alter die Bereiche der sogenannten Hardware und Software, wie von Meyer et al. (2001) beschrieben, Veränderungen unterliegen. In der vorliegenden Arbeit wird z.B. auch von einer erhöhten Stimuluserkennungszeit und Stimulusidentifikation auf der Ebene des perzeptuellen Prozessors ausgegangen.

Meyer et al. (2001) haben zusätzlich zum EPIC-Modell im Zusammenhang mit dem Dual-Task-Paradigma ein adaptives exekutives Kontrollmodell (AEC) entworfen. Nach diesem Modell wird die duale Aufgabenausführung über die Stufen der Stimulusidentifikation, Antwortselektion und Bewegungsausführung, wie im Modell von Rubinstein et al. (2001), durchgeführt. Nach ihrem Modell nutzen ältere Erwachsene die Regeln für die Antwortselektion der sekundären Aufgabe im Dual Task Paradigma weniger effizient, was zu einer verlängerten Antwortselektionszeit führt und sich in der vorliegenden Untersuchung bestätigt.

Einen Alterseffekt in der Stufe der Bewegungsausführung im Modell von Rubinstein und Mitarbeitern (2001) konnte Schwarz (2003) nachweisen. Die Verlängerung in der Bewegungsausführung führte bei den älteren Erwachsenen zu höheren Reaktionszeiten im Vergleich zu den jüngeren Erwachsenen.

Für die älteren Versuchspersonen ist aufgrund der Resultate eine allgemein höhere Aktivierung anzunehmen. Gründe dafür könnten einerseits Versagensängste und andererseits eine höhere Motivation sein.

9.4 Verhaltensdaten

Zur Untermauerung wurden den EKP-Ergebnissen herkömmliche Verfahren gegenübergestellt, die Konzentration, Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtniskapazität erfassen. Des Weiteren wurden Befindensänderungen über die Zeit betrachtet.

Der Working Memory Test Zahlenspanne (Case et al., 1982) soll, wie im Methodenteil ausführlich dargelegt, die Arbeitsgedächtniskapazität im Hinblick auf die Zahlenspanne aufzeigen. In der vorliegenden Untersuchung konnten anders als erwartet mittels des Working Memory Tests (Zahlenspanne) keine Altersunterschiede nachgewiesen werden. Zusammenhänge mit Reaktionszeiten wurden ebenfalls nicht gefunden. Die Unterschiede in der durchgeführten Studie sind demzufolge nicht auf das Arbeitsgedächtnis zurückzuführen. Der fehlende Zusammenhang zwischen den Reaktionszeiten und der Zahlenspanne könnte darauf hinweisen, dass der Working Memory Test im Gegensatz zum Reaktionszeitexperiment die Zahlenspanne direkt misst. Während des Experiments hatten die Probanden allerdings nicht die gleichen Anforderungen zu bewältigen wie im Working Memory Test (Zahlenspanne).

Nach den Resultaten der Untersuchung kann angenommen werden, dass der Working Memory Test Zahlenspanne nur einen Aspekt des Arbeitsgedächtnisses in den Reaktionszeiten darstellt, der sich in der vorliegenden Untersuchung nicht abbilden lässt.

Die Ergebnisse des Test d2 (Brickenkamp, 2002) sprechen entgegen der Befunde für die Reaktionszeiten für die Hypothese, dass mit zunehmendem Alter die Aufmerksamkeit sinkt und eine erhöhte Fehleranzahl auftritt. Im Bearbeitungstempo fanden sich für die beiden Untersuchungsgruppen keine Unterschiede. Diese Ergebnisse sind konträr zu den Resultaten der Reaktionszeitmessungen in dem hier durchgeführten Aufgabenwechselfparadigma. Dort wurden Altersunterschiede im Bearbeitungstempo, nicht aber in den Fehlerwerten gefunden. Vermutlich stellt der Test d2 als sogenannter Speed-Test andere Anforderungen an die Versuchspersonen als das Reaktions-

zeitexperiment, da hier möglicherweise ein anderer Aspekt der Aufmerksamkeit betrachtet wird. Andererseits wäre es möglich, dass das Experiment selbst zu geringe Anforderungen stellte um Altersunterschiede wie im Test d2 zu finden, was allerdings auf Grund der Resultate in den Reaktionszeiten unwahrscheinlich erscheint. Des weiteren sollten ebenfalls die Übungseffekte im Experiment einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Zu beachten sind auch die unterschiedliche Dauer des Test d2 (mit ca. 5-10 min.), der somit kurzfristige hohe Konzentration misst und des Reaktionszeitexperimentes mit ca. 2 ½ Stunden, das eher Langzeitkonzentration erfasst. Der Test d2 ist ein Papier-Bleistift-Verfahren im Gegensatz zu der Untersuchung, die computer-gestützt durchgeführt wurde. Zusammenhänge zwischen dem Test d2 und dem Zahlenspannentest waren dagegen hypothesenkonform auffindbar und konnten zeigen, dass hier ähnliche Prozesse erfasst wurden.

Die Motivation der älteren Erwachsenen erwies sich anhand der Eigenzustandsskala (Nitsch, 1976) zum ersten Untersuchungszeitpunkt höher als die der Jüngeren. Statistisch bedeutsame Unterschiede konnten jedoch zwischen den beiden Altersgruppen nicht gefunden werden. Im Trend lässt sich veranschaulichen, dass sich die Motivation in beiden Gruppen über die Zeit verringert hat.

Die höheren Werte auf der Skala Selbstsicherheit nach Ablauf des Experimentes für die älteren Versuchspersonen lassen sich damit erklären, dass diese sich scheinbar vor Beginn des Reaktionszeitexperimentes nicht sicher waren, ob sie den Anforderungen genügen würden. Wie anhand der Ergebnisse sichtbar wurde, sind die älteren Probanden in der Ausführung der Reaktionszeitaufgaben nicht wesentlich schlechter, im Einzelfall sogar besser als die jüngeren Probanden und waren sich dessen auch bewusst. Dies könnte die Erhöhung der Selbstsicherheit nach dem Reaktionszeitexperiment erklären. Bei den älteren Versuchspersonen spiegeln sich in der vorliegenden Untersuchung überdies die Furcht vor Fehlern und die kritischere Bewertung dieser wider. Ältere prüfen genauer, bevor sie antworten, eventuell kommt es zu einer nochmaligen Überprüfung der Antwort, was wiederum die Reaktionszeiten verlängern könnte. Die jüngeren Probanden erschienen risikobereiter und die Motivation zur Teilnahme am Experiment war bei ihnen wesentlich geringer und vermutlich mehr vom monetären Anreiz geprägt.

Die Verringerung der Skalen Aktivierung und Anstrengungsbereitschaft bei den jüngeren Versuchspersonen könnte das relativ geringe Interesse am Experiment widerspiegeln. Das würde auch für die Annahme des monetären Anreizes sprechen, der am Anfang des Experiments stärker wirkt. Die Ergebnisse für die Hauptkategorie Beanspruchung, die bei den Jüngeren zunehmen, bestätigen dies. Die signifikanten

Veränderungen bei der Defizienz, Erholtheit und Schläfrigkeit zeigen jedoch, dass sich die Jüngeren anscheinend durch das Experiment beeinträchtigt gefühlt haben.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit stellt sich die Frage, inwieweit das Rubinstein Modell der exekutiven Kontrolle die exekutiven Kontrollprozesse in ihrer gesamten Komplexität abbildet. Dies gilt es in weiteren Untersuchungen zu verifizieren.

In Bezug auf den experimentellen Ansatz sind Veränderungen bzw. Ergänzungen möglich. Eine Variation des CSI und/oder des RCI könnte Aufschluss im Sinne der Wechselkosten geben. Dies gilt auch für den Vergleich von explizitem und implizitem Hinweisreiz. Eine Variation der Anzahl der Informationen, die im Hinweisreiz enthalten sind, würde zeigen, ob dies mit den verringerten Wechselkosten in Zusammenhang steht. Eine weitere Untersuchung von Wechsel und Zeitdruck mittels dieses Paradigmas bietet sich demnach an.

Die Resultate der hier dargestellten Untersuchungen verdeutlichen, dass ältere Erwachsene einen höheren zeitlichen Aufwand in den Stufen der einzelnen exekutiven Prozesse benötigen, d.h. länger in den einzelnen Stufen verweilen. Dies spricht für die Hypothese der selektiven Verlangsamung. Ältere kompensieren dies durch einen höheren Aufwand in der Vorbereitung, was auf elektrokortikaler Ebene nachweisbar ist, sind aber nicht in der Lage, dies in den Reaktionszeiten umzusetzen. Das heißt, qualitativ (im Hinblick auf die Fehler und Missings) sind sie imstande dies durch einen höheren Aufwand zu kompensieren. So wiesen sie z.B. keine höhere Anzahl von Fehlern/ Missings auf. In den Reaktionszeiten (quantitativ) ist dies anscheinend nicht möglich, wie die vorliegenden Resultate zeigen. Aus der durchgeführten Studie können Überlegungen für die Aufgabenpräsentation bei Älteren abgeleitet werden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Vorschläge aus den hier erlangten Daten hervorgehen, die durch weitere Untersuchungen noch empirisch gestützt werden sollten. Die vorliegende Untersuchung konnte nachweisen, dass ältere Erwachsene auf die Bedingungen Zeitdruck und Aufgabenwechsel nicht so flexibel reagieren können wie jüngere Erwachsene. Dies resultiert aus einer weitaus höheren Anstrengung, die zur Aufgabenbearbeitung notwendig ist, der bei der Gestaltung von Arbeitsaufgaben von älteren Arbeitnehmern Rechnung getragen werden sollte. Demzufolge sollte Arbeiten unter Zeitdruck weitestgehend vermieden und mehr Erholungszeit ermöglicht werden, wie aus den höheren Ermüdungswerten der Älteren hervorgeht. Individuelle Pausen sowie eine individuelle Anforderungsgestaltung können einer vorzeitigen Ermüdung vorbeugen.

In dieser Arbeit wurden keine globalen Wechselkosten erhoben. Diese sollten in weiteren Untersuchungen erfasst werden, um so eventuell mehr Aufschluss über die vorhandenen Resultate zu erhalten. Globale Wechselkosten setzen sich aus der Differenz der Reaktionszeiten der homogenen (AAA... oder BBB...) und der heterogenen Aufgabenblöcke (AABBAABB...) zusammen. Sie sollen Gedächtnisprozesse reflektieren. In einer Untersuchung von Kray und Lindenberger (2000) wurden globale aber keine lokalen Wechselkosten gefunden. Die Autoren sehen darin eine Beeinträchtigung der Funktionen des Arbeitsgedächtnisses mit zunehmendem Alter. Demnach können die Aufgabeninstruktion und Aufgabensequenz nicht im Gedächtnis gehalten werden. Auch Mayr und Liebscher (2001) haben von altersbedingten Unterschieden in den globalen Wechselkosten berichtet. Im Gegensatz dazu konnten in einem späteren Experiment von Kray, Li und Lindenberger (2002) nur lokale aber keine globalen Wechselkosten gefunden werden. In der hier vorliegenden Untersuchung ließen sich jedoch unabhängig vom Alter keine lokalen Wechselkosten nachweisen.

Individuelle Analysen der einzelnen Versuchspersonen, die über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, könnten mehr Aufschluss über die Ergebnisse hinsichtlich der Wechselkosten und der Altersveränderungen geben. Ebenso ist es empfehlenswert in nachfolgenden Untersuchungen die Reaktionen, die außerhalb des vorgegebenen Zeitfensters ausgeführt wurden, zu registrieren und in die Auswertungen einzubeziehen.

Darüber hinaus ist es empfehlenswert unterschiedliche Berufsgruppen, wie z.B. einfache vs. komplexe Tätigkeiten, zu untersuchen. Von besonderer Bedeutung wäre eine weitere Kontrollgruppe, die sich aus Probanden zusammensetzt, die älter als 65 Jahre sind. Hier wären durchaus eindeutige Alterseffekte zu erwarten.

Die hier durchgeführte Studie setzte sich zu einem großen Teil aus Probanden zusammen, die geistigen Tätigkeiten nachgehen. Ein Vergleich der geistigen gegenüber den manuellen Tätigkeiten könnte sich als durchaus sinnvoll erweisen.

Die Entwicklung eines Untersuchungsdesigns, in dem das Auftreten und Fehlen von Wechselkosten innerhalb einer Untersuchung variiert werden kann, bietet sich an.

Die vorgeschlagene Modifikation des Modells von Rubinstein et al. (2001) in der Vorbereitung auf eine Aufgabe gilt es in weiteren Untersuchungen zu bestätigen und die Möglichkeit der Anwendung auf alle Aspekte der exekutiven Kontrollprozesse zu prüfen.

Die durchgeführte Untersuchung zeigt, dass sich die EKP in besonderer Weise in Ergänzung bzw. im Gegensatz zu Reaktionszeitstudien zu der Untersuchung von Aufgabenwechsel und Zeitdruck eignen.

Sollte sich in nachfolgenden Studien eine Bestätigung des hier gefundenen Effektes ergeben, so müssten die theoretischen Überlegungen bezüglich der den Wechselkosten zugrunde liegenden Mechanismen erweitert werden. Um eine Einordnung in den theoretischen Hintergrund zu ermöglichen, sollte die experimentelle Betrachtung dieses Effektes in den Mittelpunkt weiterer Studien gestellt werden.

Literaturverzeichnis

- Allport, D.A. (1993). *Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years*. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and Performance XIV* (pp. 183-218). Cambridge, MA: MIT Press.
- Allport, D.A. & Wylie, G. (2000). Task-switching, stimulus-response bindings and negative priming. In: S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp. 35-70). Cambridge, MA: MIT Press.
- Allport, D.A., Styles, E.A. & Hsieh, S. (1994). Shifting Intentional Set: Exploring the Dynamic Control of Tasks. In: M. C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XV* (pp. 421-452). Cambridge: MIT Press.
- Altmann, E.M. & Gray, W.D. (2002). Forgetting to remember: The functional relationship of decay and interference. *Psychological Science*, 13, 27-33.
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. In K.W. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in research and theory*, 2 (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Azari, N.P., Rapport, S.I., Salerno, J.A., Grady, C.L., Gonzales-Aviles, A., Schapiro, M.B. & Horwitz, B. (1992). Intergenerational correlates of resting cerebral glucose metabolism in old and young woman. *Brain Research*, 552, 279-290.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. (1990). *Human memory: theory and practice*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Baddeley, A.D. (1993). Working memory and conscious awareness. In A. Collins, S. Gathercole, M. Conway & P. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 11-28). Hove: Lawrence Erlbaum Associates.

- Baddeley, A.D. (1996). The fractionation of memory. *Proceedings of the National Academy of science, USA*, 93, 13468-13472.
- Baddeley, A.D. (1997). *Human Memory. Theory and Practice*. Hove: Psychology Press.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G.A. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation, Vol. 8* (pp.47-89). New York: Academic Press.
- Begleiter, H., Porjesz, B., Chou, C. L. & Aunon, J.I. (1983). P3 and stimulus incentive value. *Psychophysiology*, 20, 95-101.
- Berkman, L.F. (1988). The changing and heterogenous nature of aging and longevity: A social and biomedical perspective. In G.L. Maddox & M. Powell Lawton (Eds.), *Annual Review of Gerontology and Geriatrics*, (pp. 37-68). New York: Springer.
- Biederman, I. (1973). Mental set and mental arithmetic. *Memory and Cognition*, 1, 383-386.
- Botwinick, J. 1966. Cautiousness in advanced age. *Journal of Gerontology* 21, 347-353.
- Brickenkamp, R. (2002). *Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. 9., überarbeitete und neu normierte Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Brickenkamp, R., Karl, G.A. (1986). Geräte zur Messung von Aufmerksamkeit, Konzentration und Vigilanz. In: Brickenkamp, R. (Hrsg.): *Handbuch apparativer Verfahren in der Psychologie*, 195-211. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Bunce, D.J., Warr, P.B. & Cochrane, T. (1993). Blocks in choice responding as a function of age and physical fitness. *Psychology and Aging*, 8, 26-33.
- Cabeza, R. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In R.Cabeza & A. Kingstone (Eds.) *Handbook of functional neuroimaging of cognition*. Cambridge, MA: MIT.

- Calabrese, P., Holinka, B., Durwen, H.F., Markowitsch, H.J., Haupts, M. & Gehlen, W. (1997). Zur Neuropsychologie: Grundlagen, Verfahren, Befunde. In D. Emmans & G. Fuchs (Hrsg.), *Morbus Parkinson und Psychologie*, 15-41. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Case, R., Kurland, D.M. & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 386-404.
- Cerella, J. (1990). Ageing and Information-Processing Rate. In: J.E. Birren & K.W. Schaie (Eds.) *Handbook of the Psychology of Ageing* (3rd ed), (pp 201-221). New York: Academic Press.
- Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995). Event-related brain potentials: An introduction. In M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind. Event-related brain potentials and cognition* (pp. 1-26). Oxford: University Press.
- Coles, M.G., Smid, H.G., Scheffers, M.K. & Otten, L.L. (1995). Mental chronometry and the study of human information processing. In M.D. Rugg & M.G. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind* (pp. 86-131). Oxford: University Press.
- Coles, M.G., Gratton, G., Bashore, T.R., Eriksen, C.W. & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of the continuous flow model of human information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 529-553.
- Craik, F.I.M. & Salthouse, T.A. (1992). *Handbook of Aging and Cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Crowder, R.G. (1982). The demise of short-term memory. *Acta Psychologica*, 50, 291-323.
- Daigneault, S., Braun, C.M.J. & Whitaker, H.A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8, 99-114.

- De Jong, R. (2000). An intention activation account of residual switch cost. In: S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp. 357- 376). Cambridge, MA: MIT Press.
- De Jong, R. (2001). Adult age differences in goal activation and goal maintenance. *European Journal of cognitive Psychology*, 13, 71-89.
- De Jong, R., Berendsen, E. & Cools, R. (1999). Goal neglect and inhibitory limitations: dissociable causes of interference effects in conflict situations. *Acta Psychologica*, 101, 379-394.
- De Jong, R., Wierda, M., Mulder, G. & Mulder, L.J. (1988). Use of partial information in responding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 682-692.
- DiGirolamo, G.J., Kramer, A.F., Barad, V., Cepeda, N.J., Weissman, D.H., Milham, M.P., Wszalek, T.M., Cohen, N.J., Banich, M.T., Webb, A., Belopolsky, A.V. & McAuley, E. (2001). General and task-specific frontal lobe recruitment in older adults during executive processes: An fMRI investigation of task switching. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 12, 2065-2071.
- Donchin, E. (1981). Surprise! . . . Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Donchin, E. & Coles, M.G. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W.C. (1978). Cognitive Psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In E. Callaway, P. Tueting & S.H. Koslow (Eds.). *Event-related brain potentials in man*. New York: Academic Press.
- Dreisbach, G., Haider, H. & Kluwe, R.H. (2002). Preparatory Processes in the Task Switching Paradigm: Evidence from the Use of Probability Cues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*. 28, 468-483.

- Duncan-Johnson, C.C. & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 456-467.
- Dunlosky, J. & Salthouse, T.A. (1996). A decomposition of age-related differences in multitrial free recall. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 3, 2-14.
- Eenshuistra, R. M., Wagenmakers, E.-J. & De Jong, R. (1997, 1999). *Age-related strategy differences in task-switching*. Poster presentation for the Dutch Psychonomic Society, Egmond aan Zee, December 1997. Also presented at the conference of the European Society of Cognitive Psychology, Gent, September 1999.
- Engle, R.W., Tuholski, S.W., Lauglin, J.E. & Conway, A.R.A. (1999). Working Memory, Short Term Memory and General Fluid Intelligence: A Latent-Variable Approach. *Journal of Experimental Psychology*, 128, 3, 309-331.
- Fabiani, M., Karis, D. & Donchin, E. (1986). P300 and recall in an incidental memory paradigm. *Psychophysiology*, 23, 298-308.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J. & Hoormann, J. (1993). Late visual and auditory ERP components and choice reaction time. *Biological Psychology*, 35, 201-224.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J. & Hoorman, J. (1994). Effects of choice complexity on different subcomponents of the late positive complex of the event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 92, 148-160.
- Ford, J.M. & Pfefferbaum, A. (1991). Event-related potentials and eyeblink responses in automatic and controlled processing: Effects of age. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78, 361-377.
- Freude, G., Ullsperger, P. & Mölle, M. (1995). Application of Bereitschaftspotential for evaluation of effort expenditure in the course of repetitive display work. *Journal of Psychophysiology*, 9, 65-75.

Friedman, D., Hakerem, G. Sutton, S. & Fleiss, J.L. (1973). Effect of stimulus uncertainty on the pupillary dilation response and the vertex evoked potential.

Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 34, 475-484.

Gaillard, A.W.K. (1977). The late CNV wave: Preparation versus expectancy.

Psychophysiology, 14, 563-568.

Gathercole, S.E. & Baddeley, A.D. (1993). *Working memory and language*. Hove:

Lawrence Erlbaum Associates.

Gerjets, P. & Rummer, R. (1999). Ressourcenadaptive Sequenzierungsstrategien und

Wechselkosten. In: I. Wachsmuth & B. Jung (Hrsg), *KogWiss 99: Proceedings der 4. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft, Bielefeld*

28.9. – 1.10.1999, 225-231. St. Augustin: Infix.

Gilhooly, K.J., Logie, R.H., Wetherick, N.E. & Wynn, V. (1993). Working memory and

strategies in syllogistic reasoning tasks. *Memory & Cognition*, 21, 115-124.

Gratton, G., Coles, M.G.H. & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of

ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55, 468-484.

Hasher, L. & Zacks, R.T. (1988). Working memory, comprehension and aging: A review

and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193-225.

Hömberg, V., Grünewald, G. & Grünewald-Zuberbier, E. (1980). The incentive value of

stimuli and the P300 component of cerebral evoked potentials. In H.H. Kornhuber & L. Deecke (Hrsg.), *Motivation, motor and sensory processes of the brain: Electrical potentials, behavior and clinical use* (pp. 629-633). Amsterdam: Elsevier.

Hoffman, J.E., Simons, R.F. & Houck, M.R. (1983). Event-related potentials during

controlled and automatic target detection. *Psychophysiology*, 20, 625-632.

- Israel, J.B., Chesney, G.L., Wickens, C.D. & Donchin, E. (1980). P300 and tracking difficulty: Evidence for multiple resources in dual-task performance. *Psychophysiology*, 17, 259-273.
- Israel, J.B., Wickens, C.D. & Donchin, E. (1979). The event-related brain potential as a selective index of display-monitoring workload. *Human Factors*, 22, 212-224.
- Jasper, H. (1958). The ten twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jersild, A.T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, whole No 89.
- Johnson, R. & Donchin, E. (1980). P300 and stimulus categorization: Two plus one is not so different from one plus one. *Psychophysiology*, 17, 167-178.
- Johnson, R.Jr. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23, 367-384.
- Johnston, V.S., Miller, D.R. & Burleson, M.H. (1986). Multiple P3s to emotional stimuli and their theoretical significance. *Psychophysiology*, 23, 684-694.
- Johnston, V.S. & Wang, X.T. (1991). The relationship between menstrual phase and the P3 component of ERPs. *Psychophysiology*, 28, 400-409.
- Kaernbach, C. (1991). Simple adaptive testing with the weighed up-down method. *Perception and Psychophysics*, 49, 227-229.
- Karis, D., Fabiani, M. & Donchin, E. (1984) "P300" and memory: Individual differences in the von Restorff effect. *Cognitive Psychology*, 16, 177-216.
- Kausler, D.H. & Hakami, M.K. (1982). Frequency judgements by young and elderly adults for relevant stimuli with simultaneously present irrelevant stimuli. *Journal of Gerontology*, 37, 438-442.

- Kliegl, R., Mayr, U. & Krampe, R. (1994). Time-Accuracy Functions for Determining Process and Person Differences: An Application to Cognitive Ageing. *Cognitive Psychology*, 26, 134-164.
- Koch, I. (2003). The role of external cues for endogenous advance reconfiguration in task switching. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 488-492.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Kok, A. & Zeef, E.J. (1991). Arousal and effort: A review and theoretical synthesis of studies of age-related changes in event related potentials. In: C.H.M. Brunia, G. Mulder & M.N. Verbaten (Eds.), *Event-related Brain Research* (EEG. Suppl. 42), 324-341.
- Krämer, M. (2002). Das Task-Switching Paradigma – eine Untersuchung zu Leistungsparametern und ereigniskorrelierten Potentialen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Kramer, A.F., Schneider, W., Fisk, A. & Donchin, E. (1986). The effects of practice and task structure on components of the event-related brain potential. *Psychophysiology*, 23, 33-47.
- Kramer, A.F., Gopher, D. & Hahn, S. (1999). Ageing and Executive Control. In: *Alters- und Ermüdungseffekte auf die hirnelektrische Aktivität* (pp. 112-135). Schriftenreihe der BAuA, (TB 90).
- Kramer, A.F., Hahn, S. & Gopher, D. (1999). Task coordination and Ageing: explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica*, 101, 339-378.
- Kray, J., Li, K.Z.H. & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in Task-Switching Components. The Role of Task Uncertainty. *Brain and Cognition*, 49, 3, 363-381.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2000). Adult age difference in task switching. *Psychology and Ageing*, 15, 126-147.

- Kutas, M., McCarthy, G. & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197, 792-795.
- Leynes, P.A., Allen, J.D. & Marsh, R.L. (1998). Topographic differences in CNV amplitude reflect different preparatory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 31, 33-44.
- Li, S.-C. & Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification: A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems and dedifferentiation of cognitive abilities in old age. In L.-G. Nilsson & H. Markowitsch (Eds.), *Cognitive neuroscience of memory* (pp. 104-146). Toronto: Hogrefe & Huber.
- Logan, G.D. (1985). Executive Control of thought and action. *Acta Psychologica*, 60, 193-210.
- Lorist, M.M., Klein, M., De Jong, R., Mulder, G. & Meijman, T.F. (1998). Mental fatigue and preparation reflected in the components of the CNV. Symposium: Cognitive Changes due to aging and fatigue as revealed in the electrical brain activity. Dortmund May, 1998.
- Luck, S.J. & Hillyard, S.A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & Psychophysics*, 48, 603-617.
- MacDonald III, A.W., Cohen, J.D., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835-1838.
- Magliero, A., Bashore, T.R., Coles, M.G. & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation. *Psychophysiology*, 21, 171-186.
- Manzey, D. (1997). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In: *Enzyklopädie der Psychologie*, Biologische Psychologie, Bd. 6, 799-864. Göttingen: Hogrefe.

- Mayr, U. & Liebscher, T. (2001). Is there an age deficit in the selection of mental sets? *European Journal of cognitive Psychology, 13*, 47-69.
- Mayr, U. & Kliegl, R. (2000). Task-Set Switching and Long Term Memory Retrieval. *Journal of Experimental Psychology, 26*, 5, 1124-1140.
- Mayr, U. & Kliegl, R. (1993). Sequential and coordinative complexity: Age-based processing limitations in figural transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 19*, 1297-1320.
- McCarthy, G. & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science, 211*, 77-79.
- Mecklinger, A., Kramer, A.F. & Strayer, D.L. (1992). Event related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology, 29*, 104-119.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 22*, 1423-1442.
- Meiran, N. (2000a). Modelling cognitive control in task-switching. *Psychological Research, 63*, 234-249.
- Meiran, N. (2000b). Reconfiguration of stimulus task-sets and response task-sets during task-switching. In: S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of Cognitive processes: attention and performance XVIII* (pp. 377-399). Cambridge, MA: MIT Press.
- Meiran, N., Chorev, Z. & Sapir, A. (2000). Component processes in task-switching, *Cognitive Psychology, 41*, 211-253.
- Meiran, N. & Gotler, A. (2001). Modelling cognitive control in task switching and ageing. *European Journal of Cognitive Psychology, 13*, 165-186.
- Meiran, N., Gotler, A. & Perlman, A. (2001). Old Age is Associated with a Pattern of Relatively Impaired Task-Set Switching Abilities. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 56B*, 2, 88-102.

- Meyer, D.E., Evans, J.E., Lauber, E.J., Rubinstein, J., Gmeindl, L., Jonck, L. & Koeppel, R.A. (1997). *Activation of brain mechanism for executive mental processes in cognitive task-switching*. Poster presented at the meeting of cognitive neuroscience society, Boston.
- Meyer, D.E., Evans, J.E., Lauber, E.J., Gmeindl, L., Rubinstein, J., Junck, L. & Koeppel, R.A. (1998). The role of dorsolateral prefrontal cortex for executive cognitive processes in task switching. *Journal of Cognitive Neuroscience*, (Suppl. S), 106.
- Meyer, D.E., Glass, J.M., Mueller, S.T., Seymour, T.L. & Kieras, D.E. (2001). Executive-process interactive control: A unified computational theory for answering 20 questions (and more) about cognitive ageing. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 123-164.
- Milham, M.P., Erickson, K.I., Banich, M.T., Kramer, A.F., Webb, A., Wszalek, T. & Cohen, N.J. (2002). Attentional Control In The Ageing Brain: Insights from an fMRI Study of the Stroop Task. *Brain and Cognition*, 49, 277-296.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition*. Hove: Erlbaum.
- Monsell, S., Yeung, N. & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, 63, 250-264.
- Monsell, S. & Driver, J. (2000): *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nieuwenhuis, S. & Monsell, S. (2002). Residual costs in task switching. Testing the failure-to-engage hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9 (1), 86-92.
- Nitsch, J. (1976). Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) – Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: J. Nitsch & J. Udris (Hrsg.), *Beanspruchung im Sport* (81-102). Bad Homburg.

- Norman, D.A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of verbal behavior. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory, Vol. 4* (pp. 1-18), New York: Plenum Press.
- Okita, T., Wijers, A. A., Mulder, G. & Mulder, L. J. (1985). Memory-search and visual spatial attention: An event-related brain potential analysis. *Acta Psychologica, 60*, 263-292.
- Oldfield, R.C. (1971). The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologica, 9*, 97-113.
- Parasuraman, R. & Giambra, L. (1991). Skill development in vigilance: Effects of event rate and age. *Psychology and Aging, 14*, 539-543.
- Perner, J. & Lang, B. (2000). Theory of mind and executive function: Is there a developmental relationship? In S. Barin-Cohen, H. Tager-Flusberg & D.J. Cohen (Eds.), *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*, second edition (pp.150-181) Oxford: University Press.
- Petersen R.C., Smith G., Kokmen E., Ivnik R.J. & Tangalos E.G. (1992). Memory function in normal aging. *Neurology, 42*, 2, 396-401.
- Picton T.W., Stuss D.T., Champagne S.C. & Nelson R.F. (1984). The effects of age on human event-related potentials. *Psychophysiology, 21*, 312-325.
- Polich, J. (1996). Meta-analysis of P300 normativ aging studies. *Psychophysiology, 33*, 334-353.
- Pritchard, W.S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin, 89*, 506-540.
- Rabbitt, P., Lowe, C. & Shilling, V. (2001). Frontal tests and models for cognitive ageing. *European Journal of cognitive Psychology, 13*, 5-28.

- Ragot, R. (1984). Perceptual and motor space representation: An event-related potential study. *Psychophysiology*, 21, 159-170.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Birbaumer, N. & Lutzenberger, W. (1982). *Slow brain potentials and behavior*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Canavan, A., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1989). *Slow Cortical Potentials and Behaviour*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Rösler, F. (1982). Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse. New York: Springer.
- Rösler, F. & Heil, M. (1998). Kognitive Psychophysiology. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie* (165-224). Göttingen: Hogrefe.
- Rogers, R.D. & Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology, General*, 124, 207-231.
- Rogers, R.D, Sahakian, B.J., Hodges, J.R., Polkey, C.E., Kennard, C. & Robbins, T.W. (1998). Dissociating executive mechanisms of task control following frontal lobe damage and Parkinson's disease. *Brain*, 121, 815-842.
- Rohrbaugh, J.W., Galliard, A.W.K. (1983). Sensory and motor aspects of contingent negative variation. In: A.W.K. Galliard & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in ERP Research: Endogenous Components* (pp. 269-310). Amsterdam: Elsevier.
- Rohrbaugh, J.W., McCallum, W.C., Gaillard, A.K.W., Simons, R.F., Birbaumer, N. & Papakostopoulos, D. (1986). ERPs associated with preparatory and movement related processes. A review. In W.C. McCallum, R. Zappoli & F. Denoth (Eds.), *Cerebral Psychophysiology: Studies in Event Related Potentials*. (pp. 189-231). Amsterdam: Elsevier.
- Rubinstein, J., Evans, J.E. & Meyer, E.D. (1994). Task switching in patients with prefrontal cortex damage. Poster presented at the meeting of the Cognitive Neuroscience Society, San Francisco, CA, March, 1994. Abstract published in *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6.

- Rubinstein, J., Meyer, E.D. & Evans, J.E. (2001). Executive Control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 4, 763-797.
- Rugg, M.D. (1992). Event-related potentials in clinical neuropsychology. In J.R. Crawford, W.A. McKinlay and D.M. Parker (Eds.), *The handbook of neuropsychological assessment* (pp. 393-412). Hillsdale: Erlbaum.
- Salthouse, T.A. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8, 535-543.
- Salthouse, T.A. (1985). *A theory of cognitive aging*. Amsterdam: North-Holland.
- Salthouse, T.A. & Somberg B.L. (1982). Skilled performance: Effects of adult age and experience on elementary processes. *Journal of Experimental Psychology : General*, III, 176-207.
- Salthouse, T.A., Fristoe, N.M., McGuthry, K.E. & Hambrick, D.Z. (1998). Relations of task switching to speed, age and fluid intelligence. *Psychology and Ageing*, 13, 445-461.
- Salthouse, T.A. & Coon, V.E. (1993). Influence of task-specific processing speed on age differences in memory. *Journal of Gerontology*, 48, 245-255.
- Schaie, K.W. (1988). Variability in cognitive function in elderly: implications for societal participation. In: A.D. Woodhead, M.A. Bender & R.C. Leonhard (Eds.). *Phenotypic variation in populations*. (pp. 191-211). New York: Plenum Press.
- Scherg, M. & Picton, T.W. (1991). Separation and identification of event-related potential components by brain electrical source analysis. In C.H. Brunia, G. Mulder & M.N. Verbaten (Eds.), *Event-related brain research, EEG Suppl. 42* (24-37). Amsterdam: Elsevier.
- Schuri, U. (1988). Lernen und Gedächtnis. In D. von Cramon & J. Zihl (Hrsg.), *Neuropsychologische Rehabilitation. Grundlagen - Diagnostik – Behandlungsverfahren* (215-247). Berlin: Springer.

- Schwarz, S. (2003). Das lateralisierte Bereitschaftspotential in Abhängigkeit von Aufgabenwechsel und Alter. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Shallice, T. (1994). Multiple Levels of Control Processes. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 395-420). Cambridge, MA: MIT Press.
- Shallice, T. (1984). More Functionally Isolable Subsystems but Fewer "Modules". *Cognition*, 17, 243-252.
- Shallice, T. & Burgess, P.W. (1993). Supervisory Control of Action and Thought Selection. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.). *Attention: Selection, Awareness and Control* (pp. 171-187). Oxford: Clarendon Press.
- Shimamura, A.P., Berry, J.M., Mangels, J.A. & Rusting, C.L. (1995). Memory and cognitive ability in university professors. Evidence for successful aging. *Psychological Science*, 6, 271- 277.
- Simson, R., Vaughan, H.G. & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual discrimination tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 528-535.
- Smid, H.G., Mulder, G., Mulder, L.J. & Brands, G.J. (1992). A psychophysiological study of the use of partial information in stimulus-response translation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1101-1119.
- Smith, D.B., Donchin, E., Cohen, L. & Starr, A. (1970). Auditory averaged evoked potentials in man during selective binaural listening. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 28, 146-152.
- Sohn, M-H. & Anderson, J.R. (2001). Task Preparation and Task Repetition: Two-Component Model of Task Switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 4, 764-778.
- Sohn, M.-H. & Carlson, R.A. (1998). Procedural frameworks for simple arithmetic skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 1052-1067.

- Sohn, M-H., Ursu, S., Anderson, J.R., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2000). The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences, USA)*, 97, 13448-13453.
- Spector, A. & Biederman, I. (1976). Mental set and shift revisited. *American Journal of Psychology*, 89, 669-679.
- Spieler, D.H., Balota, D.A. & Faust, M.E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 461-479.
- Squires, K.C., Donchin, E., Herning, R.I. & McCarthy, G. (1977). On the influence of task relevance and stimulus probability on event-related potential components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 1-14.
- Strayer, D.L. & Kramer, A.F. (1994). Strategies and automaticity I: Basic findings and conceptual framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 318-341.
- Strayer, D.L. & Kramer, A.F. (1990). Attentional requirements of automatic and controlled processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 67-82.
- Stuss, D.T., Shallice, T., Alexander, M.P. & Picton, T.W. (1995). A multidisciplinary approach to anterior attentional functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 191-212.
- Sudevan P. & Taylor D.A. (1987). The cueing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 89-103.
- Sutton, S., Tueting, P., Zubin, J. & John, E.R. (1967). Information delivery and the sensory evoked potential. *Science*, 155, 1436-1439.
- Sutton S., Braren M., Zubin J. & John E.R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.

- Toms, M., Morris, N. & Ward, D. (1993). Working memory and conditional reasoning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 679-699.
- Ullsperger, P. & Gille, H.-G. (1985). Die P300 Komponente des ereignisbezogenen Hirnpotentials als Indikator bei der Untersuchung von Informationsverarbeitungsprozessen. *Psychiatrie, Neurologie und medizinische Psychologie*, 37, 582-588.
- Ullsperger, P. (1989) Changes of P300 component elicited by different equiprobably occurring deviants stimuli - a contribution to functional significance of P300. *International Journal of Psychophysiology*, 7, 2-4, 419-420.
- Umiltà, C.A., Nicoletti, R., Simion, F., Tagliabue, M.E. & Bagnara, S. (1992). The cost of strategy. *European Journal of Cognitive Psychology*, 4, 21-40.
- van Asselen, M. & Ridderinkhof, K.R. (2000). Shift cost of predictable and unexpected the shifting in young and older adults. *Psychologica Belgica*, 40, 259-273.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., Bopp, K.L. & Basak, C. (in preparation). Ageing and varieties of cognitive control: A review of meta-analysis on resistance of interference, coordination and task switching and an experimental exploration of age-sensitivity in the newly identified process of focus switching. In: R.W. Engle, G. Sedek, U. von Hecker & D.N. McIntosh. (Eds.) *Working Memory and Cognitive Control in Ageing and Psychopathology*. Cambridge, MA: University Press.
- Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C. & Winter, A.L. (1964). Contingent negative variation. An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.
- Watter, S., Geffen, G.M. & Geffen, L.B. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology*, 38, 998-1003.
- West, R.L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120, 272-292.

-
- West, R. (1999). Age differences in lapses of intention in the Stroop task. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 54B, P34-P34.
- West, R. (2001). The transient nature of executive control processes in younger and older adults. *European Journal of cognitive Psychology*, 13, 91-105.
- West, R., Ergis, A.-M., Winocur, G. & Saint-Cyr, J. (1998). The contribution of impaired working memory monitoring to performance of the self-ordered pointing task in normal aging and Parkinson disease. *Neuropsychology*, 12, 546-554.
- West, R. & Alain, C. (2000). Aged related decline in inhibitory control contributes to the increased Stroop effect observed in older adults. *Psychophysiology*, 37, 179-189.
- Whelihan, W.M. & Leshner, E.L. (1985). Neuropsychological changes in frontal functions with aging. *Developmental Neuropsychology*, 1(4), 371-380.
- Wijers, A.A., Okita, T., Mulder, L.J., Lorist, M.M., Poiesz, R. & Scheffers, M.K. (1987). Visual search and spatial attention: ERPs in focused and divided attention conditions. *Biological Psychology*, 25, 33-60.
- Wood, C.C. (1987). Generators of event-related potentials. In A.M. Halliday, S.R. Butler & R. Paul (Eds.). *A textbook of clinical neurophysiology* (pp. 535-567). New York: Wiley.
- Zeef, E.J. & Kok, A. (1993). Age-related differences in the timing of stimulus and response processes during visual selective attention: Performance and psychophysiological analyses. *Psychophysiology*, 30, 138-151.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell des Arbeitsgedächtnisses (aus: Baddeley, 1986)	4
Abbildung 2: Stufenmodell der exekutiven Kontrolle, Rubinstein et al. (2001)	14
Abbildung 3: Darstellung der P300 Wellenform	29
Abbildung 4: Typische CNV Wellenform (Interstimulus Intervall = 1500 ms)	34
Abbildung 5: Stimulus Response Mapping	45
Abbildung 6: Ablauf des Reaktionszeitexperimentes	47
Abbildung 7: Untersuchungsdesign	48
Abbildung 8: Faktorenhierarchie der EZ-Skala (Interpretationsschema) nach Nitsch (1976). Die umgepolten Faktoren sind mit „*“ gekennzeichnet (Beanspruchung, Tension, Spannungslage, Defizienz, Schläfrigkeit).	52
Abbildung 9: Positionierung der Elektroden bei einer 64-kanaligen Ableitung	56
Abbildung 10: mittlere Reaktionszeiten (RT) mit Standardfehler getrennt nach jüngeren und älteren Versuchspersonen	60
Abbildung 11: mittlere Reaktionszeiten mit Standardfehler für beide Altersgruppen in den Bedingungen: switch Zeitdruck, switch kein ZD, repeat Zeitdruck sowie repeat kein ZD; ZD= kein Zeitdruck	61
Abbildung 12: State Traces für die Bedingung Wechsel in ms getrennt für die beiden Altersgruppen	61
Abbildung 13: mittlere Fehleranzahl getrennt für Bedingungen mit und ohne Zeitdruck für die beiden Vergleichsaufgaben (A) und über die beiden Altersgruppen (B)	62
Abbildung 14: Grand Mean im Verlauf ab Präsentation des Hinweisreizes bis 1000 ms nach Erscheinen des Stimulus	64
Abbildung 15: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Altersgruppen und Zeitbereichen	66
Abbildung 16: Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz getrennt nach den Altersgruppen	67
Abbildung 17: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Altersgruppen und Zeitbereichen	68
Abbildung 18: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Wechsel über die drei Zeitbereiche	69
Abbildung 19: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Alter und Wechsel über die drei Zeitbereiche	69
Abbildung 20: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Zeitdruck über die drei Zeitbereiche	70

Abbildung 21: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Alter und Zeitdruck über die drei Zeitbereiche	70
Abbildung 22: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Vergleich und Zeitbereichen	71
Abbildung 23: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen (Fz, FCz, Cz) getrennt nach Alter und Vergleich über die drei Zeitbereiche	72
Abbildung 24: topografische Amplitudenverteilungen und Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz für den Größenvergleich der jüngeren Probanden	72
Abbildung 25: topografische Amplitudenverteilungen und Grand Mean bezogen auf den Hinweisreiz für den Größenvergleich der älteren Probanden	73
Abbildung 26: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen (PF, F, T, C) getrennt nach Vergleich und Alter über die drei Zeitbereiche	73
Abbildung 27: mittlere Amplituden getrennt nach rechter und linker Hemisphäre im Zeitbereich 1	74
Abbildung 28: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Hemisphäre x Wechsel (A), Hemisphäre x Zeitdruck (B) sowie Hemisphäre x Vergleich (C) für den Zeitbereich 3; ZD = Zeitdruck, Vgl. = Vergleich	75
Abbildung 29: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitbereich (A), Alter (B) und Vergleich (C)	77
Abbildung 30: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Wechsel x Alter (A), Vergleich x Alter (B) Zeitbereich x Wechsel (C) Zeitbereich x Zeitdruck (D), Zeitbereich x Vergleich (E) und Zeitbereich x Alter (F)	79
Abbildung 31: topografische Amplitudenverteilungen bezogen auf den Hinweisreiz getrennt nach Jung und Alt sowie numerischem Vergleich und Größenvergleich	80
Abbildung 32: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Alter (A), Zeitbereich (B) und Vergleich (C); 1 = Zeitbereich 1, 2 = Zeitbereich 2, 3 = Zeitbereich 3, ZD = Zeitdruck	83
Abbildung 33: Grand Mean EKP auf den Stimulus getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck	85
Abbildung 34: Grand Mean EKP auf den Stimulus für die jüngeren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck	86
Abbildung 35: Grand Mean EKP auf den Stimulus für die älteren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck	86
Abbildung 36: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitdruck x Alter	87

Abbildung 37: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Zeitdruck (A), Zeitdruck x Alter (B) und Vergleich x Zeitdruck (C)	88
Abbildung 38: Maps der CNV im Zeitraum von –1950 ms bis 150 ms getrennt nach Jung und Alt (0,5 μ V)	90
Abbildung 39: Grand Mean CNV für alle Versuchspersonen getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck und topografische Amplitudenverteilung für den Zeitbereich - 100 bis 0 ms	90
Abbildung 40: Grand Mean CNV für die älteren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck	91
Abbildung 41: Grand Mean CNV für die jüngeren Probanden getrennt nach Zeitdruck und kein Zeitdruck	91
Abbildung 42: mittlere CNV-Amplitude in Abhängigkeit von den Elektrodenlokalisationen getrennt nach Zeitdruck (A) und Zeitdruck x Alter (B); ZD = Zeitdruck	92
Abbildung 43: mittlere CNV-Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Zeitdruck (A), Zeitdruck x Alter (B) und Hemisphäre x Zeitdruck (C)	93
Abbildung 45: Stufenmodell der exekutiven Kontrolle, Rubinstein et al. (2001)	99
Abbildung 46: Ablauf des Reaktionszeitexperiments im Zusammenhang mit einer modifizierten Version des Stufenmodells der exekutiven Kontrolle von Rubinstein et al. (2001)	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stichprobe	43
Tabelle 2: Schriftgrößen der im Experiment verwendeten Stimuli und des Hinweisreizes	44
Tabelle 3: Mittelwerte der Reaktionszeiten in ms und Fehler in % (Standardabweichung in Klammern)	59
Tabelle 4: Anteil der Missings (in %) unterteilt nach den sechs Bedingungen	63
Tabelle 5: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x ELEKTRODE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)	65
Tabelle 6: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)	65
Tabelle 7: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITBEREICH x ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)	76
Tabelle 8: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITBEREICH x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 42)	81
Tabelle 9: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 44)	84
Tabelle 10: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (n = 44)	84
Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Test d2 Werte	94
Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der EZ-Skalen zu den drei Zeitpunkten.	96

Abkürzungsverzeichnis

AEC	= adaptives exekutives Kontrollmodell
ANOVA	= Analysis of Variance
bzw.	= beziehungsweise
ca.	= circa
CNV	= Contingent Negative Variation
CSI	= Cue-Stimulus Interval
d.h.	= das heißt
EEG	= Elektroenzephalogramm
EKP	= Ereigniskorrelierte Potentiale
EOG	= Elektroofokulogramm
EPIC	= Executive-Process Interactive Control
EZ	= Eigenzustand
F	= frontal
GLM	= General Linear Model
fMRI	= funktionelle Magnet Resonanz Tomographie
FtE	= Failure to Engage
iCNV	= initial Contingent Negative Variation
ISI	= Interstimulus Intervall
LCD	= Liquid Cristal Display
MANOVA	= Multivariate Analysis of Variance
MMM	= Modulare Multifaktorenmodelle
O	= okzipital
P	= parietal
PET	= Positron Emissions Tomographie
PINV	= Postimperative Negative Variation
PF	= präfrontal
RCI	= Response-Cue Interval
RSI	= Response-Stimulus Interval
RT	= Reaktionszeit
SAS	= Supervisory Attentional System
SRI	= Stimulus Response Interval
SR Mappings	= Stimulus Response Mappings
T	= temporal

tCNV = terminal Contingent Negative Variation
TP = temporoparietal
TSI = Task Set Inertia
vs. = versus
Z = zentral
ZD = Zeitdruck

Anhang

- A Probandenfragebogen
- B Oldfield-Handpräferenz Fragebogen
- C Erklärung zum Datenschutz
- D Instruktion (kurz), Instruktion (lang)
- E EZ-Skala
- F d2-Test
- G Working Memory Span
- H Statistiken

Probandenfragebogen

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Erlerner Beruf:

Gegenwärtige Tätigkeit:

Seit (ungefähres Datum):

Haben Sie letzte Nacht ausreichend geschlafen?
(Wie viele Stunden?)Ja Nein Haben Sie Alkohol getrunken? Heute?
Gestern?Ja Nein Ja Nein Haben Sie in den letzten vier Wochen Drogen
konsumiert?Ja Nein

Nehmen Sie z.Z. Medikamente ein ?

Ja Nein

Wenn ja, welche:

Fühlen Sie sich gesund?

Ja Nein

Wenn nein, warum?

Haben Sie einen Unfall mit Schädel-/Hirtrauma
erlitten?Ja Nein

Sind Sie gegenwärtig in ärztlicher Behandlung

Ja Nein

Wenn ja, bitte Angaben zur Art der Behandlung

Wann waren Sie das letzte Mal krank?

Ja Nein Fühlen Sie Sich in der Lage an der heutigen
experimentellen Untersuchung teilzunehmen?Ja Nein

Anhang B

Pb.Nr.:

Datum:

Oldfield-Fragebogen

Mit welcher Hand werden die aufgeführten Tätigkeiten bevorzugt ausgeführt?

X: bevorzugt

XX: immer

Unsicher: X in beiden Spalten

	Linke Hand	Rechte Hand
Schreiben		
Zeichnen		
Werfen		
Schneiden		
Zähne putzen		
Messer (ohne Gabel)		
Löffel		
Besen (obere Hand)		
Schlaghand (beim Spiel)		
Behälter öffnen		

LQ =



**ERKLÄRUNG ZUM DATENSCHUTZ UND ZUR ABSOLUTEN
VERTRAULICHKEIT IHRER ANGABEN BEI BEFRAGUNGEN UND
MEDIZINISCHEN UNTERSUCHUNGEN**

Nach den gesetzlichen Bestimmungen über den Datenschutz werden die Ergebnisse der Befragung und der medizinischen Untersuchung ausschließlich in anonymisierter Form
und
für Gruppen zusammengefasst (aggregiert)

dargestellt. Das bedeutet: **Niemand kann aus den Ergebnissen erkennen, von welcher Person die Angaben bzw. die medizinischen Befunde stammen.**

Ziel der Studie ist die Gewinnung grundlegender Erkenntnisse über Beanspruchungen am Arbeitsplatz.

Die Daten werden ausschließlich zu diesem Zweck erfasst und ausgewertet.

Versuchsleiter:

EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich meine Bereitschaft, als Versuchsperson an einer experimentellen Untersuchung und Befragung teilzunehmen, die im Rahmen einer Studie über Einflüsse am Arbeitsplatz durchgeführt werden.

Meine Angaben über meinen Gesundheitszustand sind korrekt und vollständig. Durch meine Unterschrift gebe ich meine Einwilligung, dass die von mir gemachten Angaben und die Untersuchungsergebnisse für die wissenschaftliche Auswertung benutzt werden können. Mir wurde bestätigt, dass meine Angaben vor Missbrauch geschützt sind und den gesetzlichen Bestimmungen des Datenschutzes unterliegen.

Ich weiß, dass ich jederzeit von der Teilnahme am Experiment zurücktreten kann, wenn ich es wünsche, ohne dass ich zu einer Begründung verpflichtet bin.

Berlin, den

Unterschrift:

In Druckbuchstaben

Name:

Straße, Hausnummer:

PLZ, Ort:

Instruktion (kurz)

Bitte fixieren Sie immer das Kreuz bzw. die Zahlen, die erscheinen.

Zu Beginn jeder Aufgabe erscheint immer die Zahl 5.

Wird die **Zahl 5 weiß** dargestellt, dann vergleichen Sie die nachfolgende Zahl nach dem **Wert der Zahl**.

Wird die **Zahl 5 schwarz** dargestellt, dann vergleichen Sie die nachfolgende Zahl nach der **Schriftgröße**.

Bitte antworten Sie so genau und so schnell wie möglich.

Zum Start bitte Taste drücken ...

Instruktion (lang)

Bitte fixieren Sie immer das Kreuz bzw. die Zahlen, die erscheinen.

Zu Beginn jeder Aufgabe erscheint immer die Zahl 5, die Sie mit den nachfolgenden Zahlen vergleichen sollen.

Wird die **Zahl 5 weiß** dargestellt, dann vergleichen Sie die nachfolgende Zahl nach dem **Wert der Zahl**.

Wird die **Zahl 5 schwarz** dargestellt, dann vergleichen Sie die nachfolgende Zahl nach der **Schriftgröße**.

Bitte arbeiten Sie nur mit dem rechten und linken Zeigefinger.

Der **linke Zeigefinger** soll die linke Taste (X) immer dann drücken, wenn die nach der Zahl 5 folgende Zahl **numerisch kleiner** und in der **Größe kleiner** ist als die Zahl 5.

Der **rechte Zeigefinger** soll die rechte Taste (Y) immer dann betätigen, wenn die nach der Zahl 5 folgende Zahl **numerisch größer** und auch in der **Größe größer** ist als die Zahl 5.

Betätigen Sie die Tasten bitte kurz und stark.

Wenn der Vergleich falsch gemacht wurde erscheint ein **tiefer Signalton**.

Die Zahl 5 ist mit einem roten oder grünen Kreis hinterlegt.

Ein **grüner Hintergrund** bedeutet, dass Sie **ausreichend Zeit** für die Beantwortung haben.

Ein **roter Hintergrund** bedeutet, dass Sie unter **Zeitdruck** arbeiten müssen.

Wenn die Zeit für die Beantwortung überschritten wurde erscheint ein **hoher Signalton**.

Bitte antworten Sie so genau und so schnell wie möglich.

Anhang E

Im Augenblick bin ich ...	Zutreffend ist das:					
	kaum 1	etwas 2	einiger maßen 3	ziem- lich 4	überwi- egend 5	völlig 6
gespannt						
schläfrig						
beliebt						
kraftvoll						
gutgelaunt						
routiniert						
anstrengungsbereit						
unbefangen						
energiegeladen						
geachtet						
heiter						
ausdauernd						
sorgenfrei						
selbstsicher						
ausgeruht						
überlegen						
erholungsbedürftig						
zufrieden						
unternehmungslustig						
abgehetzt						
ruhig						
kontaktbereit						
müde						
anerkant						
fröhlich						
nervös						
geübt						
konzentrationsfähig						
harmonisch						
sicher						
matt						
mitteilsam						
gelassen						
aktiv						
gefestigt						
erholt						
nützlich						
arbeitsfreudig						
vergnügt						
verausgabt						

Anhang G

Testbild mit Beispiel

Sie werden jetzt nacheinander solche Anordnungen auf dem Monitor sehen. Ihre Aufgabe ist es, die **dunkelblauen Kreise** zu zählen. Die Quadrate und die roten Kreise dienen der Ablenkung.

Bitte zählen Sie also die blauen Kreise **laut** und **wiederholen** Sie am Ende die Gesamtzahl.

Hier am Beispiel, würden Sie „1,2,3,4,“ zählen und dann 4 sagen.

Wenn Sie die Gesamtzahl wiederholt haben, drücke ich die Leezeile und ein neues Bild erscheint auf dem Monitor. Sie müssen wieder die blauen Kreise zählen.

Nach ein paar Bildern erscheint die Aufforderung „WIEDERHOLE“ auf dem Bildschirm. Versuchen Sie, die Zahl der blauen Kreise in jedem Bild, das Sie vorher gesehen haben wiederzugeben. Wenn Sie z.B. ein Bild mit 4 blauen Kreisen und dann ein Bild mit 6 blauen Kreisen gesehen haben, dann schreiben Sie bei der Aufforderung „WIEDERHOLE“ 4 und 6 auf Ihr Antwortblatt und zwar in der **richtigen Reihenfolge**.

Wir machen erst ein paar Übungsdurchgänge.

Nach der Übung: Bis jetzt mussten Sie sich immer nur 2 Zahlen merken. Während des Experiments sind es mal 2, mal 5, mal 4, mal 3.

low span ≤ 19

high span ≥ 37

Anhang H-1

Tabelle 1: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x ELEKTRODE mit der Zwischensubjektvariable ALTER in den drei Zeitbereichen nach Erscheinen des Hinweisreizes

	Zeitbereich 1	Zeitbereich 2	Zeitbereich 3
Elektrode	34,493 (< .01)	18,571 (< .01)	2,743 (.047)
Wechsel	n.s.	6,672 (\leq .01)	n.s.
Vergleich	n.s.	8,887 (< .01)	17,010 (< .01)
Elektrode x Wechsel	n.s.	4,654 (< .01)	n.s.
Elektrode x Vergleich	8,887 (.01)	3,773 (\leq .01)	4,041 (< .01)
Elektrode x Alter	10,374 (< .01)	9,740 (< .01)	4,457 (< .01)
Wechsel x Alter	n.s.	5,387 (.025)	8,320 (< .01)
Vergleich x Alter	n.s.	4,912 (.032)	n.s.
Vergleich x Zeitdruck	n.s.	6,725 (\leq .01)	n.s.
Elektrode x Zeitdruck x Alter	n.s.	2,849 (.023)	n.s.
Elektrode x Wechsel x Alter	n.s.	n.s.	4,215 (< .01)
Elektrode x Vergleich x Alter	n.s.	3,656 (\leq .01)	n.s.
Elektrode x Wechsel x Vergleich	n.s.	n.s.	5,110 (< .01)
Elektrode x Wechsel x Vergleich x Alter	n.s.	n.s.	4,731 (< .01)
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck x Alter	n.s.	5,162 (.029)	n.s.

Tabelle 2: F-Werte, Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER in den drei Zeitbereichen nach Erscheinen des Hinweisreizes.

	Zeitbereich 1	Zeitbereich 2	Zeitbereich 3
Region	49,363 (< .01)	23,477 (< .01)	3,203 (\leq .01)
Hemisphäre	8,397 (< .01)	6,281 (.016)	4,766 (.035)
Zeitdruck	n.s.	n.s.	4,845 (.034)
Vergleich	n.s.	8,337 (< .01)	15,891 (< .01)
Region x Hemisphäre	4,583 (< .01)	4,367 (< .01)	4,460 (< .01)
Region x Zeitdruck	n.s.	2,962 (.049)	4,932 (< .01)
Region x Wechsel	n.s.	7,505 (< .01)	2,923 (.043)
Region x Vergleich	19,710 (< .01)	10,472 (< .01)	5,631 (< .01)
Region x Alter	13,412 (< .01)	12,238 (< .01)	5,789 (< .01)
Hemisphäre x Zeitdruck	7,935 (< .01)	n.s.	n.s.
Hemisphäre x Vergleich	n.s.	n.s.	4,669 (.037)
Vergleich x Zeitdruck	n.s.	5,498 (.024)	n.s.
Wechsel x Alter	n.s.	n.s.	7,916 (< .01)

Anhang H-2

Region x Hemisphäre x Wechsel	n.s.	n.s.	3,198 (< .01)
Region x Hemisphäre x Zeitdruck	n.s.	n.s.	3,678 (< .01)
Region x Wechsel x Alter	n.s.	3,432 (.018)	2,989 (.040)
Region x Vergleich x Alter	n.s.	5,125 (< .01)	n.s.
Region x Vergleich x Zeitdruck	n.s.	3,987 (< .01)	n.s.
Region x Zeitdruck x Alter	n.s.	5,461 (.020)	n.s.
Region x Wechsel x Zeitdruck	n.s.	2,901 (.030)	n.s.
Region x Hemisphäre x Vergleich	2,669 (.023)	n.s.	3,284 (≤ .01)
Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	n.s.	5,090 (.030)	n.s.
Hemisphäre x Vergleich x Alter	6,787 (≤ .01)	n.s.	n.s.
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck	5,546 (.024)	n.s.	n.s.
Region x Wechsel x Vergleich x Alter	3,223 (.035)	n.s.	2,909 (.031)
Region x Wechsel x Vergleich x Alter	n.s.	n.s.	n.s.
Region x Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	n.s.	n.s.	3,040 (≤ .01)
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck x Alter	4,495 (.040)	n.s.	n.s.
Hemisphäre x Wechsel x Vergleich x Zeitdruck	n.s.	5,349 8.026)	n.s.

Tabelle 3: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x ELEKTRODE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (300 bis 400ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Elektrode	7	35	.56	34,493	< .01
Elektrode x Alter	7	35	-	10,374	< .01
Elektrode x Vergleich	7	35	.40	8,887	< .01
Elektrode x Vergleich x Alter	1	41	-	2,175	.037
Elektrode x Vergleich x Zeit	7	35	.39	2,250	.031
Wechsel x Zeit x Vergleich	7	35	-	5,281	.027
Elektrode x Wechsel x Vergleich x Zeit	7	35	.36	8,092	< .01

Anhang H-3

Tabelle 4: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (300 bis 400ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Region	6	36	.44	49,363	< .01
Hemisphäre	1	41	-	8,397	< .01
Region x Alter	6	36	-	13,412	< .01
Region x Hemisphäre	6	36	.70	4,583	< .01
Region x Vergleich	6	36	.34	19,710	< .01
Hemisphäre x Zeitdruck	1	41	-	7,935	< .01
Region x Hemisphäre x Vergleich	6	36	.83	2,669	< .05
Hemisphäre x Vergleich x Alter	1	41	-	6,787	\leq .01
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck	1	41	-	5,546	< .05
Region x Wechsel x Vergleich x Alter	6	36	-	3,223	< .05
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck x Alter	1	41	-	4,495	< .05

Tabelle 5: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (400 bis 500ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Elektrode	7	35	.57	18,571	< .01
Wechsel	1	41	-	6,672	< .01
Vergleich	1	41	-	8,887	< .01
Elektrode x Vergleich	7	35	.42	3,773	< .01
Elektrode x Alter	7	35	-	9,740	< .01
Elektrode x Wechsel	7	35	.41	4,654	< .01
Wechsel x Alter	1	41	-	5,387	< .05
Vergleich x Alter	1	41	-	4,912	< .05
Vergleich x Zeitdruck	1	41	-	6,725	< .01
Elektrode x Vergleich x Alter	7	35	-	3,656	< .01
Elektrode x Zeitdruck x Alter	7	35	-	2,849	< .05
Wechsel x Vergleich x Zeitdruck x Alter	1	41	-	5,162	< .05

Anhang H-4

Tabelle 6: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (400 bis 500ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Region	6	36	.57	23,477	< .01
Hemisphäre	1	41	-	6,281	< .05
Vergleich	1	41	-	8,337	< .01
Region x Alter	6	36	-	12,238	< .01
Region x Hemisphäre	6	36	.72	4,367	< .01
Region x Wechsel	6	36	.51	7,505	< .01
Region x Vergleich	6	36	.35	10,472	< .01
Region x Zeitdruck	6	36	.38	2,962	< .05
Vergleich x Zeitdruck	1	41	-	5,498	< .05
Region x Wechsel x Alter	6	36	-	3,432	< .05
Region x Vergleich x Alter	6	36	-	5,125	< .01
Region x Vergleich x Zeitdruck	6	36	.53	3,987	< .01
Region x Zeitdruck x Alter	6	36	-	5,461	< .05
Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	1	41	-	5,090	< .05
Region x Wechsel x Zeitdruck	6	36	.58	2,901	< .05
Hemisphäre x Wechsel x Vergleich x Zeitdruck	1	41	-	5,349	< .05

Tabelle 7: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ELEKTRODE x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH mit der Zwischensubjektvariable ALTER (500 bis 700ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Elektrode	7	35	.42	2,743	< .05
Vergleich	1	41	-	17,010	< .01
Elektrode x Alter	7	35	-	4,457	< .01
Wechsel x Alter	1	41	-	8,320	< .01
Elektrode x Vergleich	7	35	.45	4,041	< .01
Elektrode x Wechsel x Vergleich	7	35	.56	5,110	< .01
Elektrode x Wechsel x Alter	7	35	-	4,215	< .01
Elektrode x Wechsel x Vergleich x Alter	7	35	-	4,731	< .01

Anhang H-5

Tabelle 8: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER (500 bis 700ms).

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Region	6	36	.66	3,203	< .01
Hemisphäre	1	41	-	4,766	< .05
Vergleich	1	41	-	15,891	< .01
Zeitdruck	1	41	-	4,845	< .05
Region x Alter	6	36	-	5,789	< .01
Region x Hemisphäre	6	36	.49	4,460	< .01
Region x Wechsel	6	36	.44	2,923	< .05
Region x Vergleich	6	36	.45	5,631	< .01
Wechsel x Alter	1	41	-	7,916	< .01
Region x Zeitdruck	6	36	.54	4,932	< .01
Hemisphäre x Vergleich	1	41	-	4,669	< .05
Region x Wechsel x Alter	6	36	-	2,989	< .05
Region x Hemisphäre x Wechsel	6	36	.80	3,198	< .01
Region x Hemisphäre x Vergleich	6	36	.69	3,284	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitdruck	6	36	.72	3,678	< .01
Region x Wechsel x Vergleich x Alter	6	36	-	2,909	< .05
Region x Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	6	36	.81	3,040	< .01

Tabelle 9: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITBEREICH x ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER.

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Region	6	36	.62	23,064	< .01
Hemisphäre	1	41	-	9,080	< .01
Vergleich	1	41	-	12,222	< .01
Zeitbereich	2	40	.69	29,569	< .01
Region x Alter	6	36	-	11,515	< .01
Region x Hemisphäre	6	36	.59	5,031	< .01
Region x Zeitbereich	2	40	.42	10,252	< .01
Region x Wechsel	6	36	.47	4,924	< .01
Region x Vergleich	6	36	.38	13,692	< .01
Region x Zeitdruck	6	36	.37	3,487	< .05
Wechsel x Alter	1	41	-	8,405	< .01

Anhang H-6

Zeitbereich x Vergleich	2	40	.86	9,474	< .01
Vergleich x Zeitdruck	1	41	-	4,703	< .05
Hemisphäre x Zeitdruck	1	41	-	6,767	< .01
Region x Vergleich x Alter	6	36		4,474	< .01
Region x Zeitbereich x Vergleich	6	36	.42	8,860	< .01
Region x Zeitbereich x Wechsel	6	36	.42	2,295	< .05
Region x Zeitbereich x Alter	6	36	-	3,575	< .01
Region x Zeitbereich x Zeitdruck	6	36	.44	2,266	< .05
Region x Zeitdruck x Alter	6	36	-	3,735	< .05
Region x Hemisphäre x Zeitbereich	6	36	.55	3,187	< .01
Zeitbereich x Vergleich x Alter	2	40	-	4,300	< .05
Hemisphäre x Zeitbereich x Vergleich	1	41	-	4,385	< .05
Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	1	41	-	5,360	< .05
Hemisphäre x Vergleich x Alter	1	41	-	4,497	< .05
Region x Zeitbereich x Wechsel x Zeitdruck	6	36	.50	2,182	< .05
Region x Zeitbereich x Vergleich x Zeitdruck	6	36	.46	4,321	< .01
Region x Zeitbereich x Wechsel x Alter	6	36	-	3,030	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitbereich x Wechsel	6	36	.55	2,869	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitbereich x Zeitdruck	6	36	.68	2,975	< .01
Region x Hemisphäre x Wechsel x Zeitdruck	6	36	.80	2,541	< .05

Tabelle 10: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x ELEKTRODE mit der Zwischensubjektvariable ALTER der CNV.

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Elektrode	7	35	.73	34,164	< .01
Zeitdruck	1	41	-	12,333	.001
Zeitdruck x Alter	1	41	-	10,406	.002
Elektrode x Vergleich	7	35	.68	2,089	.045
Elektrode x Zeitdruck	7	35	.69	5,554	< .01
Elektrode x Zeitdruck x Alter	1	41	-	4,664	< .01

Anhang H-7

Tabelle 11: F-Werte, Freiheitsgrade (df), Huynh-Feldt- ϵ , Irrtumswahrscheinlichkeiten für alle signifikanten Effekte der GLM ZEITDRUCK x WECHSEL x VERGLEICH x REGION x HEMISPHERE mit der Zwischensubjektvariable ALTER der CNV.

	df _{Effekt}	df _{Fehler}	ϵ	F	p
Region	6	36	.56	72,176	< .01
Hemisphäre	1	41	-	5,105	< .05
Zeitdruck	1	41	-	10,741	< .01
Zeitdruck x Alter	1	41	-	7,754	< .01
Region x Hemisphäre	6	36	.95	6,186	< .01
Hemisphäre x Wechsel	1	41	-	11,130	< .01
Region x Vergleich	6	36	.70	5,160	< .01
Region x Zeitdruck	6	36	.74	10,198	< .01
Hemisphäre x Zeitdruck	1	41	-	9,298	< .01
Region x Hemisphäre x Vergleich	6	36	.88	3,401	< .01
Region x Zeitdruck x Alter	6	36	-	7,589	< .01
Region x Hemisphäre x Zeitdruck	6	36	.81	2,711	< .05
Region x Hemisphäre x Wechsel x Vergleich	6	36	.69	2,532	< .05

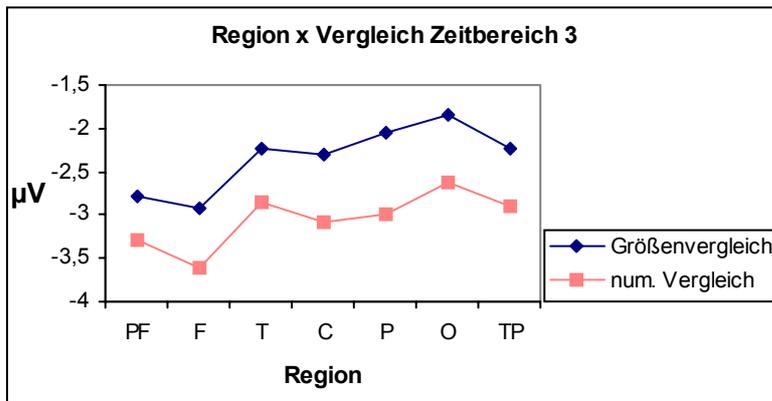
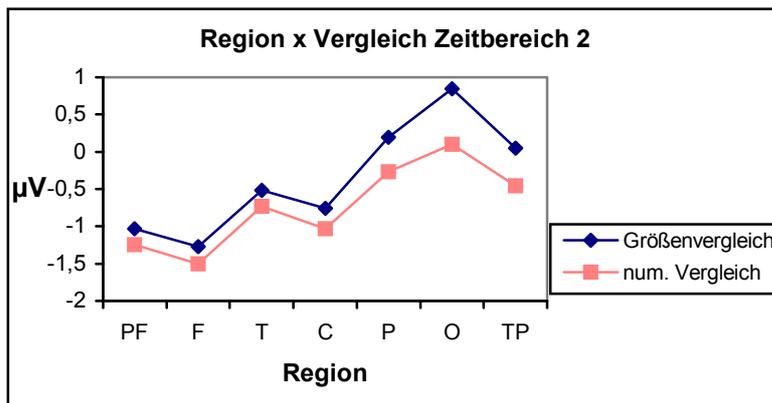
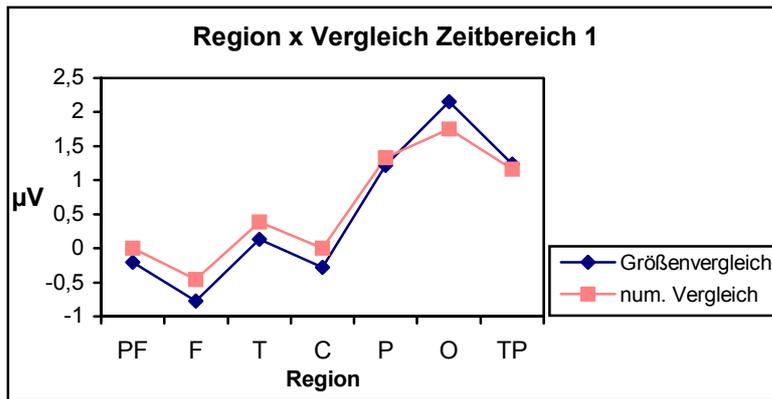


Abbildung 1: mittlere Amplituden in Abhängigkeit von den Regionen getrennt nach Vergleich und Zeitbereichen

Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hiermit erkenne ich die Promotionsordnung an.

Potsdam, den 20.09.2004

Dipl.-Psych. Jana May